



Le traitement pulpaire des dents permanentes immatures

Loriane Simon, Camille Aucler

► To cite this version:

Loriane Simon, Camille Aucler. Le traitement pulpaire des dents permanentes immatures. Médecine humaine et pathologie. 2014. dumas-01011327

HAL Id: dumas-01011327

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01011327>

Submitted on 23 Jun 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITÉ NICE-SOPHIA ANTIPOLIS
FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE
24 Avenue des Diables Bleus, 06357 Nice Cedex 04

LE TRAITEMENT PULPAIRE DES DENTS PERMANENTES IMMATURES

Année 2013-2014

Thèse n°42571406

THÈSE

Présentée et publiquement soutenue devant
la Faculté de Chirurgie Dentaire de Nice
Le 23 Juin 2014 par

Mademoiselle Camille AUCLER

Née le 25 Mars 1988 à Nice

Mademoiselle Loriane SIMON

Née le 22 Février 1988 à Cannes

Pour obtenir le grade de :

DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE (Diplôme d'État)

JURY

Madame le Professeur
Madame le Professeur
Madame le Docteur
Monsieur le Docteur
Monsieur le Docteur

Michèle MULLER-BOLLA
Marie-France BERTRAND
Clara JOSEPH
Eric LEFORESTIER
René LEROY

Président du jury
Assesseur
Directeur de thèse
Assesseur
Invité

UNIVERSITÉ NICE-SOPHIA ANTIPOLIS
FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE
24 Avenue des Diablos Bleus, 06357 Nice Cedex 04

LE TRAITEMENT PULPAIRE DES DENTS PERMANENTES IMMATURES

Année 2013-2014

Thèse n°42571406

THÈSE

Présentée et publiquement soutenue devant
la Faculté de Chirurgie Dentaire de Nice
Le 23 Juin 2014 par

Mademoiselle Camille AUCLER

Née le 25 Mars 1988 à Nice

Mademoiselle Loriane SIMON

Née le 22 Février 1988 à Cannes

Pour obtenir le grade de :

DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE (Diplôme d'État)

JURY

Madame le Professeur
Madame le Professeur
Madame le Docteur
Monsieur le Docteur
Monsieur le Docteur

Michèle MULLER-BOLLA
Marie-France BERTRAND
Clara JOSEPH
Eric LEFORESTIER
René LEROY

Président du jury
Assesseur
Directeur de thèse
Assesseur
Invité

CORPS ENSEIGNANT

56^{ème} section : DEVELOPPEMENT, CROISSANCE ET PREVENTION

Sous-section 01 : ODONTOLOGIE PEDIATRIQUE

Professeur des Universités : Mme MULLER-BOLLA Michèle

Maître de Conférences des Universités : Mme JOSEPH Clara*

Assistant Hospitalier Universitaire : Mme CALLEJAS Gabrièle

Sous-section 02 : ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE

Professeur des Universités : Mme MANIERE-EZVAN Armelle*

Maître de Conférences des Universités : M. FAVOT Pierre

Assistant Hospitalier Universitaire : Mlle TABET Caroline

Assistant Hospitalier Universitaire : Mme AUBRON Ngoc-Mai

Sous-section 03 : PREVENTION, EPIDEMIOLOGIE, ECONOMIE DE LA SANTE, ODONTOLOGIE LEGALE

Professeur des Universités : Mme LUPI-PEGURIER Laurence*

Assistant Hospitalier Universitaire : Mlle CUCCHI Céline

57^{ème} section : SCIENCES BIOLOGIQUES, MEDECINE ET CHIRURGIE BUCCALE

Sous-section 01 : PARODONTOLOGIE

Maître de Conférences des Universités : M. CHARBIT Yves*

Maître de Conférences des Universités : Mme VINCENT-BUGNAS Séverine

Assistant Hospitalier Universitaire : M. SURMENIAN Jérôme

Assistant Hospitalier Universitaire : Mme LAMURE Julie

Sous-section 02 : CHIRURGIE BUCCALE, PATHOLOGIE ET THERAPEUTIQUE, ANESTHESIE ET REANIMATION

Maître de Conférences des Universités : M. COCHAIS Patrice*

Maître de Conférences des Universités : M. HARNET Jean-Claude

Assistant Hospitalier Universitaire : M. BENHAMOU Yordan

Assistant Hospitalier Universitaire : M. SAVOLDELLI Charles

Sous-section 03 : SCIENCES BIOLOGIQUES

Professeur des Universités : Mme PRECHEUR Isabelle

Maître de Conférences des Universités : Mme RAYBAUD Hélène*

Maître de Conférences des Universités : Mlle VOHA Christine

58^{ème} section : SCIENCES PHYSIQUES ET PHYSIOLOGIQUES ENDODONTIQUES ET PROTHETIQUES

Sous-section 01 : ODONTOLOGIE CONSERVATRICE, ENDODONTIE

Professeur des Universités : Mme BERTRAND Marie-France*

Professeur des Universités : M. ROCCA Jean-Paul

Maître de Conférences des Universités : M. MEDIONI Etienne

Maître de Conférences des Universités : Mme BRULAT-BOUCHARD Nathalie

Assistant Hospitalier Universitaire : Mme DESCHODT-TOQUE Delphine

Assistant Hospitalier Universitaire : M. SIONNEAU Rémi

Assistant Hospitalier Universitaire : M. CEINOS Romain

Sous-section 02 : PROTHESES

Professeur des Universités : Mme LASSAUZAY Claire*

Maître de Conférences des Universités : M. ALLARD Yves

Maître de Conférences des Universités : Mme POUYSSEGUR-ROUGIER Valérie

Maître de Conférences des Universités : M. LAPLANCHE Olivier

Assistant Hospitalier Universitaire : M. CHOWANSKI Michael

Assistant Hospitalier Universitaire : M. CASAGRANDE Nicolas

Assistant Hospitalier Universitaire : M. OUDIN Antoine

Assistant Hospitalier Universitaire : M. SABOT Jean-Guy

Sous-section 03 : SCIENCES ANATOMIQUES ET PHYSIOLOGIQUES

Professeur des Universités : M. BOLLA Marc*

Professeur des Universités : M. MAHLER Patrick

Maître de Conférences des Universités : M. LEFORESTIER Eric

Maître de Conférences des Universités : Mlle EHRMANN Elodie

Assistant Hospitalier Universitaire : Mlle CANCEL Bénédicte

* Responsable de sous-section

Remerciements

A Madame le Professeur Michèle MULLER-BOLLA

Docteur en Chirurgie Dentaire
Docteur de l'Université de Nice Sophia Antipolis
Professeur des Universités, Praticien Hospitalier

C'est un honneur pour nous que vous ayez accepté de présider notre jury de thèse. Ces années d'apprentissage à vos côtés ont été un réel plaisir pour nous. Merci de nous avoir accompagnées et soutenues lors de nos premiers pas dans les écoles. Nous espérons de tout cœur que vous avez apprécié notre travail. Veuillez trouver dans ce travail l'expression de notre sincère reconnaissance.

A Madame le Docteur Clara JOSEPH

Docteur en Chirurgie Dentaire
Maitre de Conférences des Universités, Praticien Hospitalier
Responsable de la sous-section Odontologie Pédiatrique

Merci infiniment d'avoir accepté de diriger non pas une mais deux thèses ! Votre savoir-faire, votre disponibilité et surtout votre patience nous ont permis de mener à bien ce travail. Nous n'oublierons pas tous ces bons moments passés en clinique où travail se mêlait avec beaucoup de joie de vivre ! Avec toute notre amitié

A Madame le Professeur Marie-France BERTRAND

Docteur en Chirurgie Dentaire
Docteur de l'Université de Nice Sophia Antipolis
Professeur des Universités, Praticien Hospitalier
Responsable de la sous-section d'Odontologie Conservatrice, Endodontie

Nous vous sommes très reconnaissantes d'avoir accepté de siéger dans notre jury de thèse. Merci pour la qualité de votre enseignement et de vos conseils tout au long de notre cursus. Cette année d'assistantat en OCE a été un réel plaisir pour nous, tant d'un point de vue relationnel que professionnel. Veuillez trouver en ce travail la marque de notre profond respect et de notre sympathie.

A Monsieur le Docteur Eric LEFORESTIER

Docteur en Chirurgie Dentaire
Maitre de Conférences des Universités, Praticien Hospitalier

C'est un réel plaisir de vous compter parmi les membres de notre jury de thèse. Vous avez su nous apporter durant nos vacances hospitalières un enseignement de qualité. Travailler avec vous a été pour nous un vrai plaisir, merci pour votre bonne humeur et votre sympathie. Veuillez trouver dans cette thèse l'expression de notre profonde estime.

A Monsieur le Docteur René LEROY

Docteur en Chirurgie Dentaire
Docteur de l'Université de Nice Sophia Antipolis

Votre présence au sein de notre jury de thèse est pour nous un grand plaisir. Au cours des vacances hospitalières nous avons apprécié votre gentillesse et votre savoir-faire ainsi que vos qualités pédagogiques. Veuillez trouver ici le témoignage de toute notre gratitude.

A la famille SIMON

Après six années de dentaire cette thèse marque la fin des études et le début d'une nouvelle vie professionnelle.

Je suis ravie de partager ce moment important de ma vie avec toute cette belle famille qui est la mienne.

Cette thèse est dédiée à mes parents, ma sœur, mes grands-parents, mon chéri d'amour et mes beaux-parents, mes oncles et tantes, mes cousins et cousines et ma « petite fille ! ».

Une pensée toute particulière à mon grand-père décédé trop tôt pour voir sa petite fille devenir docteur.

Un grand merci à tous pour tout l'amour et toute la joie que vous me procurez, je vous aime tous très fort.

A la famille AUCLER

Ce travail est l'aboutissement de 6 années d'études mais marque aussi le début d'un autre monde !! Je dédie cette thèse à mes parents, à mon frère, à ma grand-mère, à Katarina, à Rubben, à Alessia, à mon amour et sa famille, sans oublier mon petit chaton...

Une pensée pour ma grand mère qui aurait, j'en suis sûre adoré ce moment...

Durant ces années, vous m'avez accompagnée, aidée, soutenue et surtout supportée, et pour tout cela merci infiniment.

Ce jour est unique dans une vie et je n'aurais voulu partager ce moment avec personne d'autres que vous. Je vous aime ...

A nos amis

A l'attention des harra ! Merci Luc et Kéké (le duo de choc) pour tout le bordel occasionné et toutes les délicates attentions à notre égard ! De toute façon « on a vingt aaaans On est là pour profiteeeerrrr » !!!! A notre Sarah, la plus « dégalasse des dégalasses », soirées inoubliables à l'Oxford, sur le canapé avec le chocolat chaud et le plaid et Sans oublier la liste des post-it !!! Et enfin dédicace à notre Rousse nationale au sourire gingivale, elle est plus que pénible mais bon on a fait avec et on t'aime quand même. Et rappelle toi la bave du crapaud (toi) n'atteint pas la blanche colombe ! ROBEEEEEEEEERRRRRT !!!

Un grand merci à toute notre promo pour ces bons moments!

Une pensée pleine d'amour à tous nos amis de longue date qui se reconnaîtront.

Table des matières

INTRODUCTION.....	1
 1^{ERE} PARTIE. GENERALITES (CAMILLE AUCLER ET LORJANE SIMON).....	3
Chapitre 1. La Dent Permanente Immature	4
I. Immaturité amélaire	4
II. Immaturité dentinaire	5
III. Immaturité pulpo-radulaire	7
IV. Méthodes de diagnostic et décisions thérapeutiques.....	9
1. Méthode de diagnostique	9
1.1. Examen clinique.....	9
1.2. Examens complémentaires.....	13
Chapitre 2. Les biomatériaux utilisés	15
I. Hydroxyde de calcium	15
1. Présentation de l'hydroxyde de calcium (12-13)	16
2. Propriétés de l'hydroxyde de calcium.....	17
2.1. Une action chimique	17
2.2. Une action antimicrobienne	17
2.3. Une action antiseptique	17
2.4. Une action anti inflammatoire.....	17
2.5. Une action hémostatique	17
3. Les indications de l'hydroxyde de calcium	18
4. Les avantages et les inconvénients de l'hydroxyde de calcium	18
5. Conclusion	18
II. Minéral Trioxyde Aggregate (MTA).....	19
1. Composition du MTA.....	19
2. Présentation du MTA.....	19
3. Propriétés du MTA	20
3.1. Propriétés antibactériennes	20
3.2. Propriétés d'étanchéité et de scellement	20
3.3. Propriétés de biocompatibilité	20

3.4.	La radio opacité.....	20
3.5.	La résistance à la compression.....	20
4.	<i>Indications du MTA</i>	21
5.	<i>Les avantages et inconvénients du MTA</i>	21
6.	<i>Conclusion</i>	21
III.	Biodentine®	22
1.	<i>Composition de la Biodentine®</i>	22
2.	<i>Présentation de la Biodentine®</i>	22
3.	<i>Propriétés de la Biodentine®</i>	23
3.1.	Propriétés d'étanchéité et résistance à la micro-infiltration.....	23
3.2.	Propriétés de biocompatibilités	23
3.3.	Formation de dentine réactionnelle.....	23
3.4.	Propriétés mécaniques.....	24
3.5.	Propriétés antimicrobiennes.....	24
4.	<i>Les Indications de la Biodentine®</i>	24
5.	<i>Les avantages et inconvénients de la Biodentine®</i>	24
6.	<i>Conclusion</i>	24
IV.	Oxyde de Zinc Eugénol (ZOE)	25
1.	<i>Présentation de ZOE</i>	25
2.	<i>Composition de ZOE</i>	25
3.	<i>Avantages et Inconvénients de ZOE</i>	26
4.	<i>Indications et Contre-indications</i>	26
V.	Calcium enriched mixture ciment ou CEM ciment	26
1.	<i>Définition</i>	26
2.	<i>Composition</i>	27
3.	<i>Propriétés</i>	27
4.	<i>Indications</i>	27

2^{EME} PARTIE. LA PULPE VIVANTE (LORIANE SIMON)..... 28

Introduction - Recherche Systématique de la Littérature (RSL) 29

I. Stratégie de recherche.....29

- | | | |
|----|-----------------------------------|----|
| 1. | <i>Sélection des études</i> | 29 |
| 2. | <i>Résultats</i> | 30 |

II. Extraction des données	32
Chapitre 1. Diagnostics et décisions thérapeutiques	33
I. Lésion carieuse sans atteinte pulpaire - pulpe vivante	33
1. <i>Les traitements pulpaires indirects</i>	33
1.1. Définition et caractéristiques	33
1.2. Mise en œuvre clinique	34
1.3. Quelle technique choisir ?	36
2. <i>La pulpotomie partielle.....</i>	38
2.1. Définition et caractéristiques	38
2.2. Mise en œuvre clinique	38
3. <i>La pulpotomie totale</i>	42
3.1. Définition et caractéristique	42
3.2. Mise en œuvre clinique avec les différents matériaux	42
II. Exposition pulpaire traumatique - pulpe vivante	45
1. <i>Le coiffage pulpaire direct</i>	48
1.1. Définition et caractéristiques	48
1.2. Mise en œuvre clinique avec les différents matériaux	49
Chapitre 2. Quel matériau pour quel protocole, discussion	54
I. Choix des matériaux, résultats de la RSL	54
II. Discussion.....	54

3^{EME} PARTIE. LA PULPE NECROSEE (CAMILLE AUCLER)

Chapitre 1. L'apexification.....	62
I. Méthode de la revue de la littérature	62
1. <i>Stratégie de recherche.....</i>	62
1.1. Sélection des études	62
1.2. Extraction des données.....	63
1.3. Résultats	63
II. Résultats –discussion.....	65
1. <i>Principes de l'apexification</i>	65
2. <i>Indications de l'apexification.....</i>	65
3. <i>Protocoles thérapeutiques.....</i>	65

III. Choix des matériaux, résultats de la RSL.....	75
Chapitre 2. La revascularisation	78
I. Méthode de la revue de la littérature	78
1. <i>Stratégie de recherche.....</i>	78
1.1. Sélection des études	78
1.2. Extraction des données.....	79
1.3. Résultats	79
II. Résultats –discussion.....	81
1. <i>Définition et indications de la revascularisation</i>	81
1.1. Définition de la revascularisation	81
1.2. Indications de la revascularisation	81
2. <i>Principe et mécanismes de la revascularisation</i>	82
2.1. Principe	82
2.2. Les mécanismes de la revascularisation.....	82
3. <i>Nature du tissu formé.....</i>	84
4. <i>Mise en œuvre clinique et protocoles :.....</i>	88
5. <i>Nouvelles techniques de revascularisation</i>	99
5.1. Les concentrés plaquettaires	99
5.2. D'autres techniques d'ingénierie tissulaire en développement (185-186).....	104
Conclusion.....	107
Fiches cliniques	110
Bibliographie	12323

Table des figures

Figure 1: Composition de l'émail des dents permanentes matures et immatures.....	4
Figure 2: Prismes amellaires d'une dent immature.....	5
Figure 3: Lésion carieuse et couches dentinaires.....	6
Figure 4: Radiographie de 11 et 21 immatures.....	8
Figure 5: Apex d'une dent immature et mature.	8
Figure 6: Application clinique de l'ICDAS.....	11
Figure 7: Cliché bite wing.....	13
Figure 8: Révélation radiographique d'une lésion carieuse.....	13
Figure 9: Diagnodent.....	14
Figure 10: Les principaux composants du MTA	19
Figure 11: les différents composants de la Biodentine®	22
Figure 12: Préparation de la Biodentine®	23
Figure 13: Composition de ZOE	25
Figure 14: Organigramme de la revue systématique de littérature (apexogenèse).....	31
Figure 15: Coiffage indirect	34
Figure 16: Cas clinique d'un coiffage indirect sur une DPI.....	34
Figure 17: Technique stepwise.....	35
Figure 18: Cas clinique sur la technique stepwise.....	35
Figure 19: Technique stepwise modifiée : éviction partielle ultra-conservatrice de la dentine cariée.....	36
Figure 20: Cas clinique d'une pulpotomie partielle avec l'hydroxyde de calcium.	39
Figure 21: Cas clinique d'une pulpotomie partielle sur DPI avec de la Biodentine®.....	41
Figure 22: Cas clinique d'une pulpotomie totale sur DPI avec le CEM ciment.....	44
Figure 23: Cas clinique d'une pulpotomie totale avec le MTA sur DPI	48
Figure 24: Coiffage direct avec l'hydroxyde de calcium	50
Figure 25: Cas clinique d'un coiffage direct au CVIMAR.	51
Figure 26: Cas clinique coiffage direct avec du MTA.....	52
Figure 27 : Cas clinique coiffage direct avec la Biodentine®.....	53
Figure 28: Organigramme de la revue systématique de la littérature (apexification)	64
Figure 29: Premier cas clinique de traitement d'apexification à l'hydroxyde de calcium.	68
Figure 30: Deuxième cas clinique de traitement d'apexification à l'hydroxyde de calcium	69
Figure 31: Premier cas clinique d'un traitement d'apexification au MTA.....	71
Figure 32: Deuxième cas clinique d'un traitement d'apexification au MTA.....	71
Figure 33: Traitement d'apexification avec de la Biodentine® sur une dent immature nécrosée.....	72
Figure 34: Hydroxyde de calcium utilisé pour un traitement d'apexification.....	75
Figure 35: Fracture radiculaire d'une dent permanente immature après un traitement d'apexification à l'hydroxyde de calcium.....	76
Figure 36: MTA utilisé pour le traitement d'apexification.....	76
Figure 37 : Biodentine® utilisé pour le traitement d'apexification.....	77
Figure 38 : Organigramme de la revue systématique de littérature (revascularisation)	80

Figure 39: Apex ouvert (> à 1mm).....	82
Figure 40: Apex fermé (< à 1mm)	82
Figure 41 :Régénération hypothétique du tissu pulpaire à partir de la pulpe résiduelle	83
Figure 42: Survie pulpaire partielle	84
Figure 43: Formation de ponts de ciment-intra canalaire	85
Figure 44: Invagination du tissu osseux, cémentoïde et de ligament parodontal lors d'une procédure de revascularisation	85
Figure 45: Coloration due à la minocycline	91
Figure 46: Coloration due au MTA gris	91
Figure 47: Cas clinique d'un traitement de revascularisation avec la pâte tri-antibiotique.....	92
Figure 48: Cas clinique d'un traitement de revascularisation avec l'hydroxyde de calcium.....	94
Figure 49: Cas clinique d'un traitement de revascularisation avec l'hydroxyde de calcium.....	94
Figure 50 : Technique Curasan et Friadent-Schutze.....	101
Figure 51: Protocole afin d'obtenir une membrane PRF.....	103
Figure 52: Arbre décisionnel des traitements pulpaire des dents permanentes immatures.....	109

Table des tableaux

<u>Tableau I</u> : Les stades de Nolla (selon Nolla 1996).....	7
<u>Tableau II</u> : Classification ICDAS	10
<u>Tableau III</u> : ICDAS-LAA	12
<u>Tableau IV</u> : Classification de Baume.....	13
<u>Tableau V</u> : Propriétés du matériau idéal.....	15
<u>Tableau VI</u> : Les différentes préparations de l'hydroxyde de calcium	16
<u>Tableau VII</u> : Avantage et inconvénient de l'hydroxyde de calcium	18
<u>Tableau VIII</u> : Avantages et inconvénients du MTA.....	21
<u>Tableau IX</u> : Avantages et inconvénients de la Biodentine®.....	24
<u>Tableau X</u> : Avantages et inconvénients de ZOE.....	26
<u>Tableau XI</u> : Indications et contre-indications de ZOE.....	26
<u>Tableau XII</u> : Historique de la recherche électronique (apexogenèse).....	30
<u>Tableau XIII</u> : Indications et contre-indications des traitements pulpaire indirects	33
<u>Tableau XIV</u> : Indications et contre-indications de la pulpotomie partielle	38
<u>Tableau XV</u> : Indications et contre-indications de la pulpotomie totale	42
<u>Tableau XVI</u> : Indications de thérapeutique pulpaire dans les cas de traumatismes selon l'IADT 2012	46
<u>Tableau XVII</u> : Indications et contre-indications du coiffage pulpaire direct.....	49
<u>Tableau XVIII</u> : Pulpotomie partielle sur DPI.....	57
<u>Tableau XIX</u> : Pulpotomie totale sur DPI.....	58
<u>Tableau XX</u> : Coiffage pulpaire direct sur DPI	59
<u>Tableau XXI</u> : Historique de la recherche électronique (apexification).....	63
<u>Tableau XXII</u> : Résultats de la RSL sur l'apexification : Traitement à l'hydroxyde de calcium.....	73
<u>Tableau XXIII</u> : Résultats de la RSL sur l'apexification : Traitement avec le MTA.....	74

<u>Tableau XXIV: Historique de la recherche électronique RSI revascularisation</u>	79
<u>Tableau XXV: Revascularisation: Nature du tissu formé.....</u>	87
<u>Tableau XXVI: Revascularisation : traitement avec l'hydroxyde de calcium.....</u>	95
<u>Tableau XXVII: Revascularisation: Traitement avec la pâte tri-antibiotique.....</u>	97
<u>Tableau XXVIII: Avantages et inconvénients des procédures de revascularisation suivant l'antiseptique utilisé.</u>	99
<u>Tableau XXIX: Effet cicatrisant et régénérateur tissulaire du PRP</u>	100

Introduction

Introduction

Dans 35% des cas chez les enfants, les premières molaires contribuaient à elles seules aux trois quarts du bilan carieux pour l'ensemble de la denture.

D'un autre côté le risque de chutes, plus important à cet âge est à l'origine d'un pourcentage élevé de traumatismes alvéolo-dentaire chez l'enfant.

Il est donc fréquent de rencontrer des lésions carieuses ou traumatiques sur les dents permanentes immatures. Leur conservation sur l'arcade est alors un enjeu primordial pour le chirurgien-dentiste.

Le praticien peut alors se retrouver face à deux cas de figures :

- Soit la conservation de la vitalité pulpaire est possible auquel cas le coiffage pulpaire direct, indirect, la pulpotomie partielle ou la pulpotomie totale représentent des alternatives de traitement permettant une fermeture radiculaire physiologique ou apexogénèse.
- Soit la vitalité pulpaire de la DPI est compromise et l'orientation du traitement vers un traitement de l'endodonte est nécessaire pour une fermeture apicale non physiologique ou apexification. Plus récemment la notion de revascularisation apparaît dans la littérature. Cette technique permet d'obtenir une édification radiculaire physiologique sur une pulpe nécrosée.

Le premier objectif de notre travail est de faire le point sur les données actuelles présentées dans la littérature concernant les différents traitements applicables aux DPI, leurs indications, les protocoles et les matériaux à notre disposition pour leur réalisation.

Le second objectif est à caractère pédagogique par l'élaboration de fiches cliniques pouvant aider les praticiens et étudiants dans le bon choix et la réalisation des traitements pulpaire de la dent permanente immature.

1^{ère} partie
Généralités

Camille Aucler
et
Loriane Simon

Chapitre 1

La Dent Permanente Immature

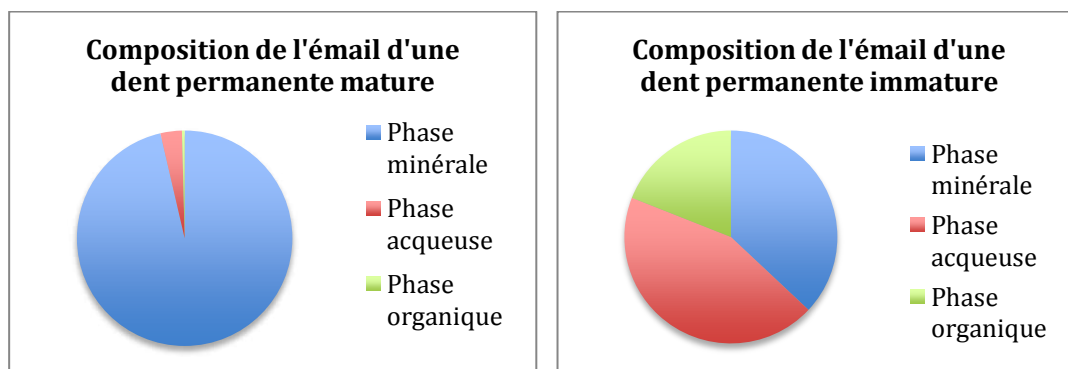
Une dent permanente, présente sur une arcade, est dite immature tant que la jonction cémento-dentinaire apicale n'est pas en place. Les dents permanentes immatures sont présentes à partir de l'établissement de la denture mixte (6 ans) jusqu'au début de la phase de denture adulte jeune (15 ans). Une dent permanente immature présente certaine particularité histologique, anatomique et physiologique, la rendant très singulière à traiter.

I. Immaturité amélaire

Lorsque la dent fait son éruption, l'émail est immature puis il subit un processus de maturation post éruptive (minéralisation secondaire) qui le rendra mature. Il s'agit d'un mécanisme complexe au cours duquel l'eau et les protéines sont progressivement remplacées par du calcium et du phosphate, ce qu'on appelle des cycles de déminéralisation-reminéralisation (1).

Dans sa forme mature, l'émail est constitué de nombreux cristaux d'hydroxyapatite et contient plus de 96% de phase minérale, peu d'eau (3,2%) et seulement quelques traces de matrice organique (0,4%). Alors que sa forme immature (figure 1) est constituée d'une matrice organique plus importante (19%), d'une phase minérale réduite (37%) et d'une phase aqueuse bien plus grande (44%) (2).

Figure 1: Composition de l'émail des dents permanentes matures et immatures



Ainsi l'émail des dents immatures comporte de nombreux défauts structuraux et donc une surface poreuse (figure 2) favorisant la rétention de plaque bactérienne propice au développement des lésions carieuses (2).

Figure 2: Prismes amellaires d'une dent immature.



Source : Atlas d'histologie humaine et animale, FUNDP

La structure de l'émail immature n'est pas la seule cause de la présence de plaque dentaire, l'éruption de la dent est un facteur important d'accumulation de la plaque bactérienne. En effet cette période commence dès l'apparition des pointes cuspidiennes dans la cavité buccale jusqu'à son occlusion fonctionnelle. Ce laps de temps est plus ou moins long selon les dents mais peut atteindre 15 à 27 mois pour les molaires ; période durant laquelle la dent est moins accessible au brossage.

Les cycles de déminéralisation-reminéralisation à la base de la maturation de l'émail sont également responsables de l'apparition et de la progression des caries (1). En effet, des échanges d'ions phosphate, calcium et fluor se font en fonction des concentrations locales et du pH environnant. En milieu acide, l'hydroxyapatite se dissout ; c'est la déminéralisation. La reminéralisation se fait lorsque le pH est supérieur à 5,5 où une reprécipitation des cristaux phosphocalciques permet de compenser la perte minérale.

II. Immaturité dentinaire

La dent permanente immature présente une immaturité également au niveau de la dentine. La dentinogénèse se poursuit tout au long de la formation de la dent.

Pendant le développement dentaire, trois types de dentine sont élaborés :

- La dentine primaire est une dentine normale, composée de tubuli espacés régulièrement.
- La dentine secondaire se dépose en réponse aux facteurs biomécaniques, tels que les changements de température, les chocs mécaniques ou encore les irritations chimiques.
- La dentine tertiaire que l'on appelle également dentine réactionnelle ou irrégulière se dépose après une irritation pulpaire majeure comme par exemple une attrition, caries ... Elle se forme

exclusivement dans les zones adjacentes à l'irritation.

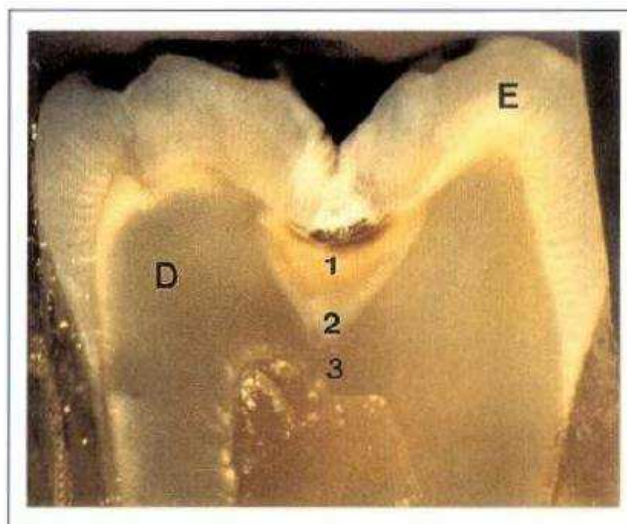
D'un point de vue morphologique, la dent permanente immature présente une absence de dentine secondaire, ce qui implique un volume pulpaire important, sans rétraction des parois de la chambre pulpaire et de cornes pulpaire. De plus les dents permanentes immatures ne bénéficient pas encore du dépôt de dentine pericanaliculaire permettant progressivement l'oblitération des tubulis. Ces tubulis largement ouverts rendent la dentine très perméable.

Cliniquement, cela a pour conséquence la prolifération rapide de la carie une fois la jonction amélo-dentinaire atteinte. En effet la déminéralisation s'effectue de manière lente au niveau de l'émail retardant ainsi le phénomène de cavitation. La déminéralisation de la dentine se fait à la fois en direction pulpaire mais également sous les cuspides aboutissant à une destruction coronaire presque totale en 3 ans (1).

Au cours du processus carieux, les modifications dentinaires peuvent être partagées en plusieurs zones (figure 3) : de l'extérieur vers l'intérieur

- une zone superficielle (dentine nécrotique): disparition de l'architecture dentinaire et apparition d'une grande cavité remplie de bactéries.
- (2) la dentine infectée : zone d'invasion, altération irréversible de l'architecture dentinaire.
- (3) la couche affectée : dentine réactionnelle, zone de réaction vitale et altération partielle réversible intéressant la dentine intertubulaire

Figure 3: Lésion carieuse et couches dentinaires.



Source : Honkala et al. 2011

III. Immaturité pulpo-radulaire

La dent fait son éruption dans la cavité buccale lorsque la racine a atteint les deux tiers de sa longueur totale (stade 8 de Nolla). Il lui faudra entre trois et quatre ans pour atteindre le stade 10 ; entre ces 2 stades, la dent sera considérée comme immature (2).

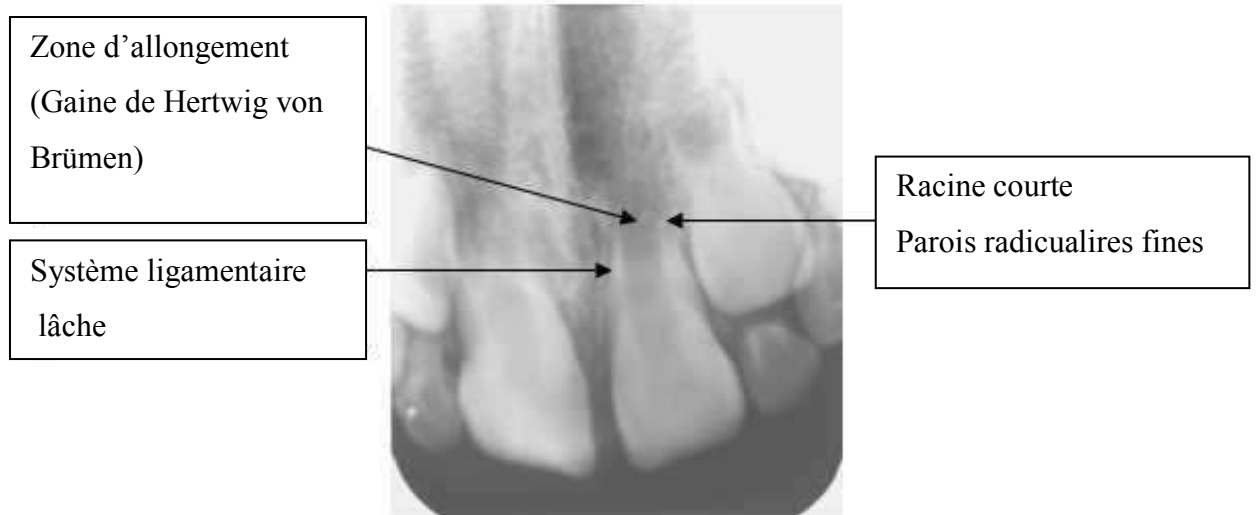
Les différents stades de Nolla sont répertoriés dans le tableau I.

Tableau I : Les stades de Nolla (selon Nolla 1996)

Stade 0	Absence de la crypte
Stade 1	Présence de la crypte
Stade 2	Calcification initiale
Stade 3	Un tiers de la couronne est minéralisée
Stade 4	Deux tiers de la couronne sont minéralisées
Stade 5	La couronne est minéralisée
Stade 6	Début d'édification radulaire
Stade 7	Un tiers de la racine est minéralisée
Stade 8	Deux tiers de la racine sont minéralisés La dent fait son éruption
Stade 9	La racine est édifiée Apex non fermée
Stade 10	L'extrémité apicale de la racine est achevée La jonction cémento-dentinaire est en place

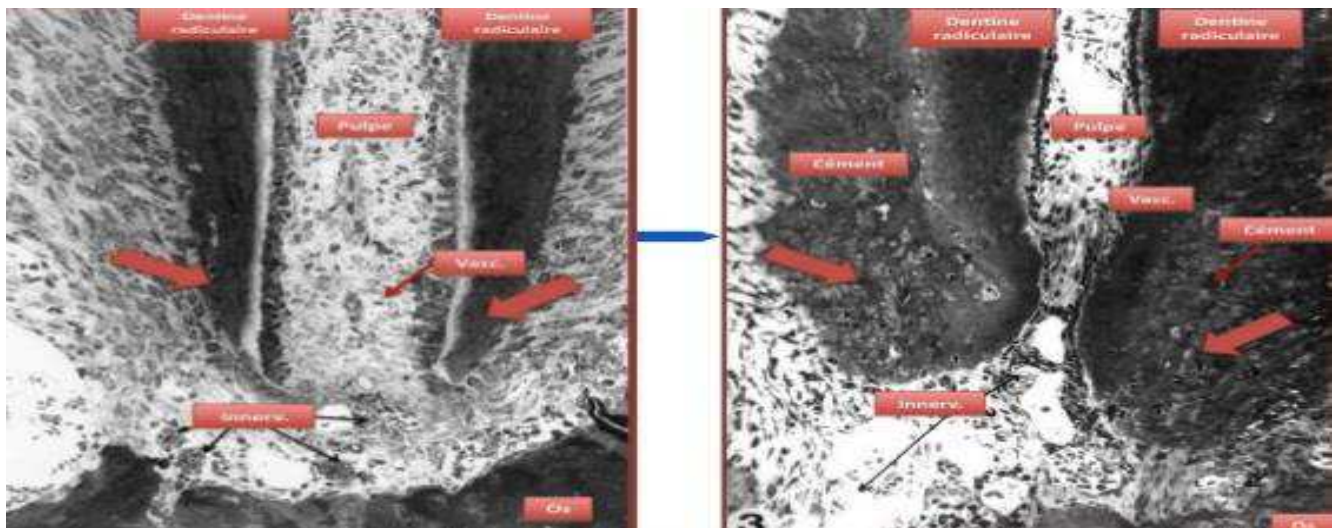
La dent immature se caractérise par une région apicale non formée complètement (figure 4 et 5). Le paquet vasculo-nerveux est volumineux dans un canal endodontique évasé laissant ainsi apparaître un apex largement ouvert (2). Avec des parois dentinaires fines et fragiles, la racine apparaît comme mince et plus ou moins courte selon le degré d'évolution. La formation radulaire se fait par prolifération épithéliale dans le tissu conjonctif que l'on appelle la gaine de HERTWIG. C'est cette gaine qui permet la différenciation des cellules de la jeune pulpe radulaire en odontoblaste assurant la dentinogenèse de l'extrémité apicale de la racine (2). Une fois l'acquisition de la longueur définitive de la racine, on observe la désintégration de la gaine d'HERTWIG, mettant ainsi la dentine à nu en contact direct avec le conjonctif environnant. Ce processus entraîne alors la formation de cémentoblastes qui élaboreront le cément primaire (qui participe à la fermeture des orifices apicaux) et le cément secondaire (qui couvre la partie apicale de la racine), ce dernier prédominant au niveau du tiers apical des racines et contribue ainsi à la formation de l'apex (3).

Figure 4: Radiographie de 11 et 21 immatures (4)



L'innervation est elle aussi immature, ce qui contribue à la rendre moins sensible aux différentes stimulations externes. L'absence de constriction apicale fait que les voies nerveuses ne sont pas comprimées lors d'une éventuelle inflammation ce qui explique une diminution voir une absence de douleurs (4).

Figure 5: Apex d'une dent immature et mature.



Source : Atlas d'histologie humaine et animale, FUNDP

La décision thérapeutique devra prendre en compte le stade de formation radiculaire et apicale. Les interventions sur les dents permanentes immatures, devront permettre l'édification dentaire et alvéolaire la plus physiologique possible (5).

Il sera donc primordial de conserver la vitalité pulpaire, la pulpe étant le seul organe capable d'assurer la sécrétion de dentine via les odontoblastes (5). De plus, en raison de son importante vascularisation et de la radiculogénèse en cours, la DPI présente un potentiel de réparation plus important que la DP (5).

IV. Méthodes de diagnostic et décisions thérapeutiques

La progression carieuse sur une DPI est plus rapide que sur une dent permanente, conséquence de l'immaturité des tissus décrite précédemment. Un diagnostic précoce est de ce fait primordial.

1. Méthode de diagnostique

1.1. Examen clinique

L'examen clinique regroupe à la fois un examen visuel et un examen tactile,

L'examen visuel permet de détecter les lésions évoluées, les lésions initiales passant généralement inaperçues. Il est impératif que cet examen soit réalisé sur des dents propres et bien éclairées avant et après séchage.

L'examen tactile permet le sondage, utile pour la détection de la dureté dentinaire des lésions cavitaires, mais se trouve être iatrogène dans la détection des lésions initiales (6).

Deux classifications sont à prendre en compte, la classification ICDAS et la classification de Baume qui vient compléter la première par la prise en considération de la symptomatologie.

1.1.1. International caries Detection and Assessment System – ICDAS

L'ICDAS a été élaboré à Dundee (Ecosse) en avril 2002 et revu en 2005 à Baltimore (Maryland, USA) et devient l'ICDAS II.

L'ICDAS II est donc une base dans laquelle les nouveaux outils d'évaluation des lésions carieuses pourront être intégrés afin d'aider à la prise de décisions plus précises en pratique clinique.

La classification ICDAS à 7 scores, détaillée dans le tableau II et la figure 6, permet d'avoir une idée des tissus déminéralisés et de la sévérité de la lésion. Cette méthode de détection et d'évaluation diagnostic des lésions carieuses permet une description progressive de l'atteinte tissulaire (1)

Tableau II : Classification ICDAS (7)



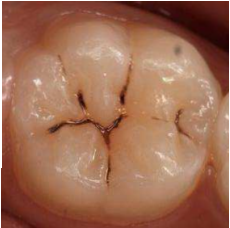

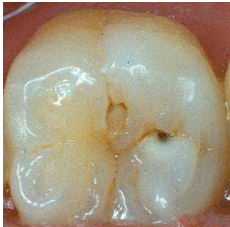


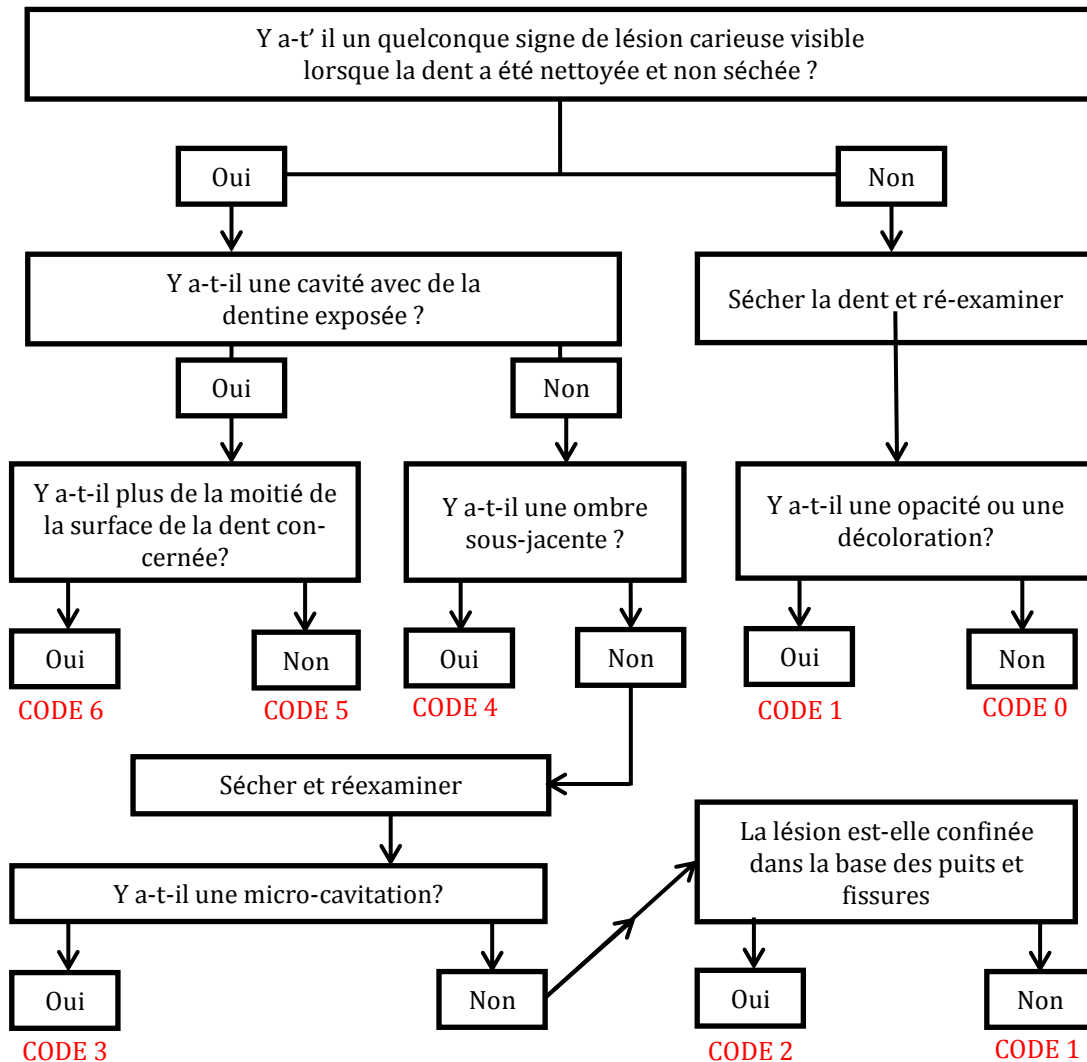
Classification ICDAS		Atteinte histologique	
0		Aucune déminéralisation	
1	Changement visible après séchage	Déminéralisation limitée à la moitié externe de l'émail	
2	Changement visible sans séchage	Déminéralisation limitée à la moitié interne de l'émail	
3	Rupture localisée de l'émail sans déminéralisation de la dentine visible sous-jacente.	Atteinte de la jonction amélo dentinaire. Début de déminéralisation externe de la dentine	
4	Dentine cariée visible par transparence avec ou sans rupture localisée de l'émail	Déminéralisation externe de la dentine	
5	Micro cavité visible avec dentine visible	Déminéralisation du tiers moyen de la dentine	
6	Carie dentinaire étendue	Déminéralisation du tiers profond de la dentine	

Figure 6: Application clinique de l'ICDAS (7)



La classification ICDAS permet un diagnostic visuel, cependant on ne doit pas se limiter à ce seul critère.

1.1.2. Evaluation de l'activité des lésions carieuses

Le groupe à l'origine d'ICDAS a pour objectif final de décider s'il s'agit d'une lésion carieuse et rien d'autre puis d'évaluer sa sévérité et finalement établir l'état d'activité de la lésion (ICDAS II avec Lesion Activity Assessment).

L'évaluation de l'activité des lésions amélares est basée sur des critères modifiés de Nyvad *et al* (1999), repris par Ekstrand en 2007 et détaillée dans le tableau III.

L'activité des lésions carieuses repose principalement sur deux indicateurs cliniques :

- La présence de plaque en rapport avec la localisation de la lésion
- La sensation tactile au sondage

Tableau III : ICDAS-LAA (7)

Facteurs déterminants l'activité de la lésion selon la localisation	
Lésion active	Lésion inactive
Lésion en relation avec une zone cariogénique naturelle de stagnation de plaque	Lésion sans relation avec une zone cariogénique naturelle de stagnation de plaque
<u>Surfaces occlusales</u> Dents postérieures en éruption : toute la surface Dents postérieures en occlusion : la sonde arrondie pénètre sans forcer au niveau des puits et sillons.	<u>Surfaces occlusales</u> Dents postérieures : la sonde ne pénètre pas
<u>Faces vestibulaires et linguales</u> Liseré de 0-400µ adjacent au rebord gingival	<u>Faces vestibulaires et linguales</u> Au-delà du liseré de 0-400µ adjacent au rebord gingival
<u>Faces proximales</u> Zones situées entre le contact inter dentaire et la gencive	<u>Faces proximales</u> Absence de dents adjacentes
<u>Autres surfaces</u> Cavités franches avec bords irréguliers	<u>Autres surfaces</u> Cavités franches avec bords réguliers situés à distance d'une zone de stagnation de plaque
Facteurs déterminants l'activité de la lésion selon la perception tactile	
Rugueux /Mou	Lisse/Dur
Email	
Oui : mais non lié à des dépôts colorés, tartre, et/ou des défauts anatomiques	Oui
Dentine	
Molle au sondage et/ou un défaut ou une rupture irrégulière	Dure au sondage

Toutefois, en denture mixte et permanente, l'examen clinique ne suffit pas et doit être complété par des examens complémentaires.

1.1.3. Classification de BAUME

C'est une classification symptomatique à but thérapeutique des pathologies pulpaire (Cohen et al., 2006). (Tableau IV).

Tableau IV: Classification de Baume

Catégories	Signes cliniques	Thérapeutiques
Catégorie I	Pulpe vivante sans symptomatologie lésée accidentellement ou proche d'une carie profonde	Coiffage pulpaire
Catégorie II	Pulpe vivante avec symptomatologie (pulpite réversible)	Coiffage ou biopulpotomie
Catégorie III	Pulpe vivante infectée (pulpite irréversible)	Biopulpectomie et obturation canalaire
Catégorie IV	Pulpe nécrosée accompagnée ou non de complications périapicales	Obturation canalaire

1.2. Examens complémentaires

1.2.1. Examen radiographique

L'examen radiographique doit compléter cet examen clinique par la prise de bite-wing (figure 7), ou clichés rétro coronaires (figure 8), qui sont indispensables pour établir un diagnostic. Cet examen reste limité pour les lésions initiales au niveau occlusal du fait de la superposition des tissus. Cependant, il reste l'un des meilleurs moyens de détection des lésions initiales proximales (Lasfargues et Colon, 2009)

Figure 7: Cliché bite wing. (8)



Figure 8: Révélation radiographique d'une lésion carieuse (8)



1.2.2. Diagnodent

Dans le cas de lésion difficiles à diagnostiquer comme les lésions occlusales non cavitaires ou les lésions proximales, le recours à la fluorescence laser ou Diagnodent (figure 9) peut se révéler être un bon outil d'aide au diagnostic (9).

D'autres méthodes de diagnostic existe tel la SOPRO-Life, FOTI,... mais sont moins couramment utilisées ou n'ont pas encore assez de recul clinique.

Figure 9: Diagnodent



1.2.1. Test de vitalité

Les différents tests de vitalité pulpaire (percussion, test au froid et au chaud, électrique...) sont peu fiables pour les dents permanentes immatures et génèrent des résultats inconstants. On ne peut donc pas se baser sur ces réponses pour élaborer un diagnostic pulpaire concernant la DPI (10).

Chapitre 2

Les biomatériaux utilisés

Le matériau idéal doit être biocompatible et de ce fait présenter un certain nombre de propriétés biologiques et physico chimiques (Fitzgerald et Heys, 1991) énumérées dans le tableau V.

Tableau V: Propriétés du matériau idéal

Propriétés biologiques	Propriétés physico chimiques
Biocompatibilité Action anti inflammatoire Action anti infectieuse Absence de toxicité et de caractère allergène	Etanchéité Bonne résistance mécanique à la pression Compatibilité avec les matériaux d'obturation Radio opacité Simple d'utilisation Aucune coloration dentaire

Mais aucun matériau commercialisé ne respecte complètement ce cahier des charges.

Nous ne verrons ici que les matériaux qui seront utilisés dans les techniques expliquées dans les chapitres suivants.

I. Hydroxyde de calcium

L'hydroxyde de calcium a été utilisé pour la première fois par HERMANN en 1937, il est aussi appelé chaux hydratée, chaux délitée ou chaux éteinte, et a pour formule $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Les ciments à l'hydroxyde de calcium sont essentiellement des biomatériaux minéraux de protection de la pulpe pour éviter son irritation ou favoriser sa guérison. L'hydroxyde de calcium se présente sous la forme d'une poudre blanche très fine, de densité 3,3, de poids moléculaire 74,08 g/mol et de point de fusion 2750°C (11).

1. Présentation de l'hydroxyde de calcium (12-13)

Les différentes formes de l'hydroxyde de calcium sont présentées dans le tableau VI.

Tableau VI: Les différentes préparations de l'hydroxyde de calcium

	Préparations magistrales	Préparations commerciales	Préparations durcissantes
Présentation du matériau	La poudre hydroxyde de calcium peut être mélangé avec un anesthésique sans vasoconstricteur ou avec de l'eau distillée	• En seringue ou en carpule • Se sont des solutions colloïdales c'est à dire d'un solide dispersé dans un liquide	Sous la forme d'une base et d'un catalyseur ou d'une pâte photo - polymérisable
Mise en place du matériau	• Le mélange est asséché puis introduit dans le canal avec un porte amalgame • Enfin il est condensé à l'aide de fouloirs à canaux	Introduction du matériau avec un lentulo	La prise rapide du matériau rend impossible son usage en technique endocanalaire
Cette préparation permet	• De garder un pH élevé • Une libération rapide des ions OH ce qui permet une activité microbienne importante	• Des effets favorables sur les tissus • Une vitesse de résorption rapide de la pâte	
Indications	Coiffages directs	• Les dents nécrosées. • Les dents traumatisées.	• Coiffages directs • Coiffage indirects

2. Propriétés de l'hydroxyde de calcium

La composition chimique de l'hydroxyde de calcium lui confère de nombreuses propriétés biologiques.

2.1. Une action chimique

Son pH est voisin de 12,5 ; il est donc alcalin. Grâce à son pH élevé, il induit une nécrose limitée qui stimule suffisamment le tissu vital sous-jacent pour qu'il puisse initier une réponse réparatrice.

2.2. Une action antimicrobienne

Les espèces bactériennes les plus fréquemment retrouvées dans les canaux infectés sont des bactéries anaérobies strictes. Aucune bactérie ne résiste à un pH supérieur à 12 (14). Par conséquent, les bactéries directement en contact avec l'hydroxyde de calcium sont rapidement détruites. Il pourrait, en outre, neutraliser les endotoxines bactériennes. La formation de la barrière apicale est donc plus efficace en l'absence de micro-organismes (15). Mais, les variations anatomiques et les canalicules dentinaires difficilement accessibles à l'hydroxyde de calcium constituent de véritables niches écologiques pour les bactéries.

2.3. Une action antiseptique

Ce sont les ions d'hydroxyde (OH^-) qui sont responsables de l'alcalinité du produit (pH : 12,5) et donc de son action antiseptique car :

- Il dénature les protéines
- Il inhibe l'action des enzymes
- Il dénature l'ADN des micro-organismes (13-16)

2.4. Une action anti inflammatoire

L'hydroxyde de calcium s'oppose à l'acidose des tissus enflammés (16).

2.5. Une action hémostatique

Elle est due à la présence du calcium qui est un facteur de coagulation (17).

3. Les indications de l'hydroxyde de calcium

L'utilisation de l'hydroxyde de calcium est conseillée pour certaines thérapeutiques comme :

- Les coiffages pulpaire
- Les pulpotomies
- Le traitement des dents matures nécrosées
- L'apexification
- Le traitement des résorptions internes et des résorptions externes inflammatoires
- Le traitement de certaines perforations

4. Les avantages et les inconvénients de l'hydroxyde de calcium

Les avantages et inconvénients de l'hydroxyde de calcium sont exposés dans le tableau VII.

Tableau VII : Avantage et inconvénient de l'hydroxyde de calcium

AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Effet bactéricide ▪ Neutralise l'acidité ▪ Permet une coagulation rapide 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Matériau résorbable ▪ Faible résistance à la compression, ce qui peut entraîner une fragmentation lors de la condensation des matériaux ▪ Dégradé par le mordantage acide ▪ Applications multiples du matériau pour un effet favorable (18)

Mais certaines études comme celle réalisée en 2002 par Andreasen et al. sur 90 incisives mandibulaires immatures de mouton, montre que le traitement à long terme avec du Ca(OH)_2 entraîne une diminution de la résistance à la fracture de 50% au bout d'un an. Ces résultats sont confirmés par une seconde étude d'Andreasen (18) ainsi que par les travaux de Rosenberg et al. (119).

5. Conclusion

L'hydroxyde de calcium conserve des indications en endodontie et en odontologie conservatrice grâce notamment à ces nombreuses propriétés.

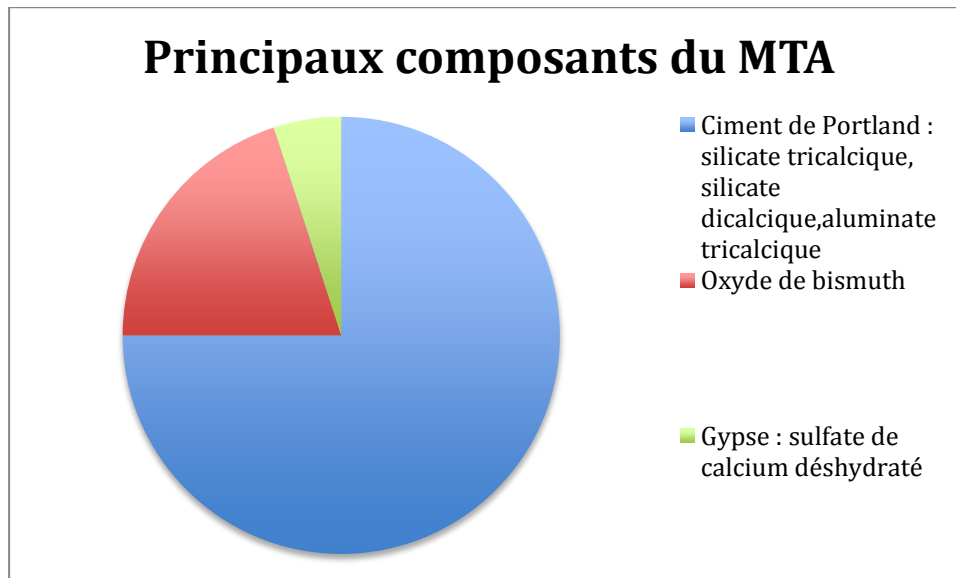
Nous allons nous intéresser à un autre matériau fréquemment utilisé.

II. Minéral Trioxyde Aggregate (MTA)

1. Composition du MTA

Le Minéral Trioxyde Aggregate (MTA) mis au point par Torabinejad , a fait l'objet de nombreuses recherches et a reçu l'approbation de "l'US Food and Drug Administration" en 1998 (19). Les principaux composants du MTA sont représentés dans la figure 10.

Figure 10: Les principaux composants du MTA (11)



2. Présentation du MTA

Le MTA, ProRoot, se présente sous la forme d'une poudre grise à l'origine, qui existe maintenant de couleur blanche dans un souci d'esthétique, conditionnée en sachets pré-dosés. Celle-ci est mélangée à de l'eau distillée dans des proportions de 3/1 (soit 1 gramme de poudre de MTA et 0,35 grammes de H₂O). La poudre se compose de fines particules hydrophiles. L'absorption de l'eau entraîne la formation d'un gel colloïdal qui se solidifie en une structure dure en quelques heures (2,5 à 3 heures). Après la prise finale, le matériau n'est plus du tout soluble (DEAL et coll en 2002 ; TOROBINEJAD et coll en 1995) (20). Cette capacité serait due à la présence d'oxyde de calcium qui fait partie de la composition du MTA ; ce dernier réagit avec les fluides tissulaires (TRONSTED et coll en 1980). Son pH après prise est de 12,5, équivalent à celui de l'hydroxyde de calcium (21).

3. Propriétés du MTA

Le MTA est un matériau qui possède de nombreuses propriétés intéressantes qui permettent son utilisation dans de nombreuses situations cliniques.

3.1. Propriétés antibactériennes

Le pH du MTA varie en fonction du temps. Il est de 10,2 après malaxage, atteint 12,5 après trois heures, puis reste stable à ce niveau dans les 24h qui suivent. L'effet antibactérien du MTA serait dû à son pH élevé 12,5 (13-22). Cependant selon une étude de Holland et coll. (2001) qui porte sur le pouvoir antibactérien du MTA et de l'hydroxyde de calcium, cette étude a conclu que l'activité antibactérienne de l'hydroxyde de calcium est supérieure à celle du MTA car l'hydroxyde de calcium possède un spectre plus large. En effet le MTA est efficace contre les bactéries anaérobies facultatives mais n'a aucun effet sur les bactéries anaérobies strictes contrairement à l'hydroxyde de calcium (11-23-24).

3.2. Propriétés d'étanchéité et de scellement

Ces propriétés sont liées à sa nature hydrophile, il est insoluble dans l'eau, qui lui confère une prise lente et sans contraction en milieu humide (25-26-27). Le MTA est également non résorbable, ce qui est un grand avantage par rapport à l'hydroxyde de calcium, puisque cela permet de le laisser en place dans le canal et de réaliser ainsi une obturation endodontique définitive immédiatement après la prise (12-23).

3.3. Propriétés de biocompatibilité

Les études de biocompatibilité du MTA ont montré que sa réponse biologique reste favorable par rapport à d'autres matériaux (12-28).

3.4. La radio opacité

La radio opacité du MTA est supérieure à celle de la dentine et équivalente à celle de la gutta. Cette radio opacité est due à la présence de la poudre d'oxyde de bismuth (12-29).

3.5. La résistance à la compression

La résistance à la compression (70 Mpa) est suffisante pour une utilisation en tant qu'obturation du tiers apical, au contact de laquelle la gutta percha peut être compactée, mais ne permet pas de l'envisager comme matériau de restauration (30).

4. Indications du MTA

L'utilisation du MTA est conseillée dans certaines thérapeutiques comme :

- L'apexification
- Les pulpotomies
- Les coiffages
- Le traitement des perforations
- En chirurgie endodontique comme matériau d'obturation à rétro (31)

5. Les avantages et inconvénients du MTA

Les avantages et inconvénients sont exposés dans le tableau VIII.

Tableau VIII: Avantages et inconvénients du MTA

AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bonne adaptation marginale ▪ Biocompatibilité ▪ Très peu de risques encourus ▪ Diminution du temps de traitement ▪ Peu de séances 	<ul style="list-style-type: none"> ▪Recul clinique moyen ▪Cout relativement élevé (31)

6. Conclusion

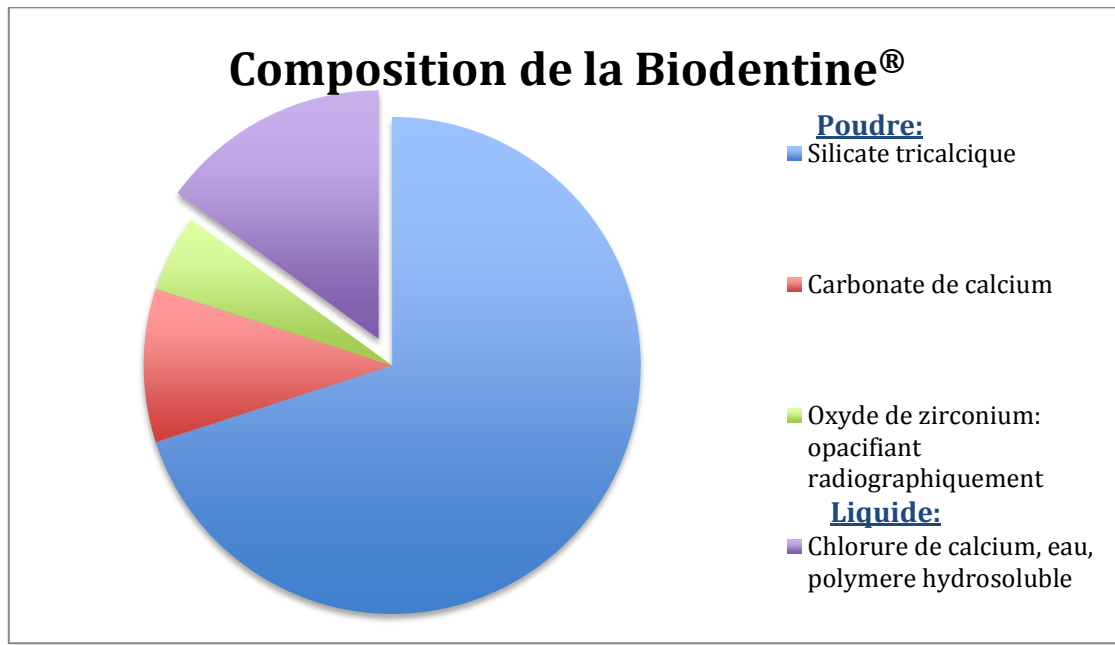
La littérature montre que le MTA est un matériau aux propriétés intéressantes et aux résultats prometteurs. Un dernier matériau récemment commercialisé peut être utilisé pour le traitement de la dent permanente immature.

III. Biodentine®

1. Composition de la Biodentine®

La Biodentine® est un ciment bioactif présenté récemment lors du congrès de l'Association Dentaire Française, en novembre 2010. Les différents composants de la Biodentine® sont représentés dans la figure 11.

Figure 11: les différents composants de la Biodentine®



2. Présentation de la Biodentine®

La Biodentine® se présente sous deux formes ; soit une boîte de 15 capsules soit 15 monodoses. Selon le fabricant la préparation de la Biodentine® se fait de la manière suivante (figure 12) :

- Ouvrir une capsule (32)
- Verser le contenu d'une mono dose d'eau dans la capsule et refermer
- Placer la capsule dans le vibreur pendant 30 secondes
- Ouvrir la capsule et récupérer la Biodentine®

Figure 12: Préparation de la Biodentine® (32)



Le temps de travail, défini par le délai entre le mélange et sa prise initiale, est de 6 min.

Son temps de prise est quant à lui compris entre 9 et 12 minutes. Cependant une contamination hydrique amène un ralentissement de la prise du matériau. Il faut donc éviter tout contact avec l'eau ou les fluides pendant la phase de prise initiale du matériau c'est à dire environ 10 minutes (32).

3. Propriétés de la Biodentine®

La Biodentine® est un matériau qui possède des propriétés intéressantes dans son utilisation en endodontie et en odontologie conservatrice.

3.1. Propriétés d'étanchéité et résistance à la micro-infiltration

La Biodentine® a un comportement similaire en termes de résistance à l'infiltration qu'un ciment verre ionomère à l'interface avec l'émail, la dentine et les adhésifs (32).

3.2. Propriétés de biocompatibilités

La cytotoxicité de la Biodentine® a été étudiée par des tests de biocompatibilité in vitro. Le ciment Biodentine® placé directement sur des fibroblastes pulpaire humains n'engendre pas la mort cellulaire, tout comme le MTA (32).

La Biodentine® présente une excellente biocompatibilité avec la pulpe et les tissus parodontaux.

3.3. Formation de dentine réactionnelle

On constate après application de la Biodentine®, la formation d'une matrice minéralisée. En effet, l'expérimentation animale a montré la formation de dentine réactionnelle entre 40 et 80 µm d'épaisseur. A un mois, la couche de dentine est homogène et mesure environ 160 µm.

3.4. Propriétés mécaniques

Elles sont similaires à la dentine saine et peut ainsi la remplacer tant au niveau coronaire qu'au niveau radiculaire, sans traitement préalable des tissus calcifiés (20).

3.5. Propriétés antimicrobiennes

La Biodentine® a un effet antibactérien pendant 4 heures.

4. Les Indications de la Biodentine®

L'utilisation de la Biodentine® est conseillée dans certaines thérapeutiques comme :

- Restaurations provisoires de l'émail
- Restaurations définitives de la dentine
- Coiffages
- Lésions cervicales ou radiculaires profondes
- Pulpotomies
- Apexification
- Traitements de perforations de la racine
- Traitements de résorptions internes et externes
- En chirurgie endodontique (32-33)

5. Les avantages et inconvénients de la Biodentine®

Les avantages et inconvénients de la Biodentine® sont exposés dans le tableau IX.

Tableau IX : Avantages et inconvénients de la Biodentine®

AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Matériau à multi indication : traitement endodontiques et restauration ▪ Gain de temps au fauteuil grâce au collage direct du composite possible dans la même séance 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Matériaux onéreux ▪ La contamination hydrique ralentit la prise du matériau ▪ Pas de recul clinique (32)

6. Conclusion

Après avoir été validé expérimentalement au laboratoire, la Biodentine® doit prouver son efficacité clinique en tant que substitut dentinaire dans chacune de ses indications thérapeutiques. Les études cliniques réalisées tant en endodontie qu'en dentisterie restauratrice sont dans la phase de réévaluation des résultats à court et moyen terme. Cependant, les premiers résultats en pratique

privée après plus de deux ans d'utilisation, sont extrêmement encourageants (20-32-33).

IV. Oxyde de Zinc Eugénol (ZOE)

1. Présentation de ZOE

L'oxyde de zinc eugénol a été utilisé pendant des années en tant que ciment, liner et matériau de restauration temporaire (34).

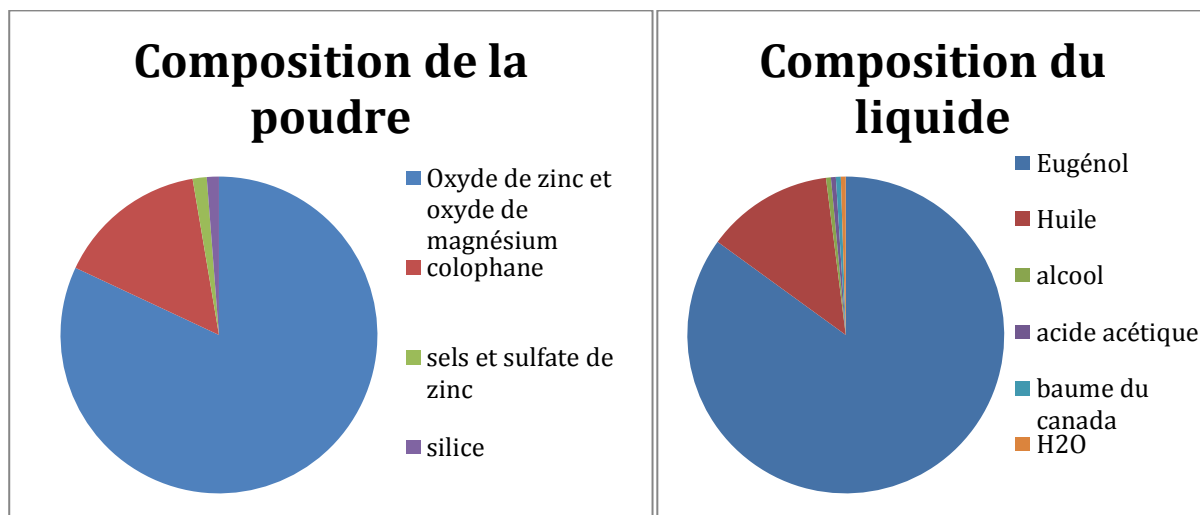
L'oxyde de zinc eugénol fait partie des ciments à matrice organo-minérale et sont classés en 4 types :

- Type I pour le scellement temporaire:
 - classe 1 : poudre et liquide
 - classe 2 : pâte-pâte durcissant
 - classe 3 : pâte-pâte durcissant
- Type II pour le scellement définitif : poudre et liquide
- Type III pour l'obturation temporaire et base de restauration : poudre et liquide
- Type IV pour le revêtement de cavités :
 - classe 1 : poudre et liquide
 - classe 2 : pâte-pâte durcissant (34)

2. Composition de ZOE

La pâte ZOE est obtenue par le mélange poudre/liquide dont la composition est exposée dans la figure 13.

Figure 13: Composition de ZOE



3. Avantages et Inconvénients de ZOE

Les avantages et les inconvénients sont représentés dans le tableau X.

Tableau X: Avantages et inconvénients de ZOE

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Bonne étanchéité temporaire • Bon isolant thermique et électrique (matériau de choix pour l'obturation provisoire sur dent pulpée) • Bonne élimination des micro-organismes résiduels dans la dentine • Libération d'Eugénol ayant la capacité d'inhiber l'inflammation et de gérer la douleur par diffusion vers la pulpe au travers de la dentine • Action anti-inflammatoire, antibactérienne et sédatrice grâce aussi au pH neutre (7 à 8) 	<ul style="list-style-type: none"> • Diminution de la résistance mécanique dans le temps • Faible résistance mécanique à la compression (225 kg/cm² contre 2220 kg/cm² pour la dentine) et à l'abrasion • Diminution dans le temps de la capacité de ZOE à éliminer les bactéries • Concentrations cytotoxiques d'eugénol libérées (35) • Temps de prise long • Gout désagréable • Brûlures gencive (dérivé de l'essence de girofle)

4. Indications et Contre-indications

Les indications et contre-indications sont exposées dans le tableau XI.

Tableau XI: Indications et contre-indications de ZOE

Indications	Contre-indications
<ul style="list-style-type: none"> • Obturation provisoire • Fond de cavité • Obturation canalaire • Scellement provisoire • Pansement chirurgical • Matériau à empreintes (en prothèse amovible complète) 	<ul style="list-style-type: none"> • Fond de cavité sous les composites (L'eugénol inhibe la polymérisation du méthacrylate de méthyle) • Coiffage pulpaire direct (toxicité de l'eugénol) • Allergie

V. Calcium enriched mixture ciment ou CEM ciment

1. Définition

Récemment un nouveau ciment endodontique appelé « New endodontic cement » ou « Calcium enriched mixture cement » (CEM ciment) a été mis sur le marché.

Il présente des indications cliniques similaires au MTA tout en ayant une composition chimique tout à fait différente (36).

2. Composition

Le CEM ciment est obtenu par le mélange poudre/liquide. Le liquide est sous forme de solution saline (37) et la poudre est, elle, essentiellement composée de (38-39):

- Oxyde de calcium (CaO)
- Trioxyde de Soufre (SO₃)
- Pentoxyde de Phosphore (P₂O₅)
- Silice (SiO₂)

Une fois la poudre et le liquide mélangés on obtient une pâte plus fluide que celle obtenue pour le MTA (36), ce mélange est alors mis au contact de l'organe dentaire dans des quantités plus petites que le MTA (36), 2mL suffisent (37).

L'avantage dans la manipulation clinique du CEM ciment est qu'il présente un temps de prise inférieur à 1h et des propriétés hydrophiles (36). Le CEM ciment peut en effet être manipulé et mise en place même en milieu humide (38).

3. Propriétés

Dans la majorité des articles cliniques les propriétés du CEM ciment sont mises en comparaison avec celles du MTA mais aussi avec de l'hydroxyde de calcium.

Les propriétés du CEM ciment sont : (36-38-39)

- Bonne étanchéité (similaire à celle du MTA)
- Propriétés antimicrobiennes acceptables (identiques à celles de l'hydroxyde de calcium), avec un pH de 11
- Biocompatibilité
- Induction de la formation d'hydroxyapatite
- Induction de la cémentogénèse
- Propriétés antifongiques identiques au MTA (40)
-

4. Indications

Les indications du CEM ciment sont similaires à celles du MTA (36-39).

2^{ème} partie

La Pulpe vivante

Loriane Simon

Introduction

Recherche Systématique de la Littérature (RSL)

Nous chercherons dans cette partie à faire un point à partir d'une revue de littérature sur les indications et les thérapeutiques associées aux traitements des atteintes pulpaires (traumatiques ou carieuses) des DPI dont la pulpe est vivante.

Cette revue systématique de la littérature a pour objectif d'étudier les thérapeutiques d'apexogénèse sur les dents permanentes immatures vivantes et de faire un comparatif entre les différents matériaux utilisés.

I. Stratégie de recherche

Dans un premier temps, une recherche électronique a été réalisée sur PUBMED en utilisant les mots clés suivants : dental caries, apexogenesis, dental traumatology, pulp capping, pulpotomy, immature teeth, mineral trioxide aggregate, MTA, biodentine, calcium hydroxide.

Dans un deuxième temps, une recherche manuelle a été effectuée à partir de la liste des références des articles présélectionnés pour identifier des articles qui auraient échappé à la recherche électronique.

Le logiciel *Reference Manager* version 12 a été utilisé afin de rassembler toutes les références des différentes recherches et d'éliminer celles qui étaient présentes plusieurs fois et de les regrouper en fonction des mots clés qui leur étaient associés.

1. Sélection des études

Seules les publications rédigées en anglais ou en français ont été retenues. Les articles identifiés par la recherche électronique étaient inclus s'ils décrivaient :

- Des thérapeutiques d'apexogénèse sur des dents immatures permanentes
- L'utilisation de matériaux adaptés à ces thérapeutiques

Les articles n'étaient pas inclus s'il s'agissait :

- De thérapeutiques sur dents temporaires
- De thérapeutiques sur des dents présentant une anomalie de structure ou de forme

- De thérapeutiques d'apexification ou de revascularisation
- De thérapeutiques pratiquées sur les animaux
- De rapport de cas où un seul cas est traité, ceux présentant plusieurs cas ont été sélectionnés.
- D'études in vitro

2. Résultats

La recherche électronique basée sur plusieurs mots clés conduite dans le cadre de la RSL ayant pour objectif d'identifier tous les documents décrivant les thérapeutiques d'apexogénèse sur les dents permanentes immatures est décrite dans le Tableau XII.

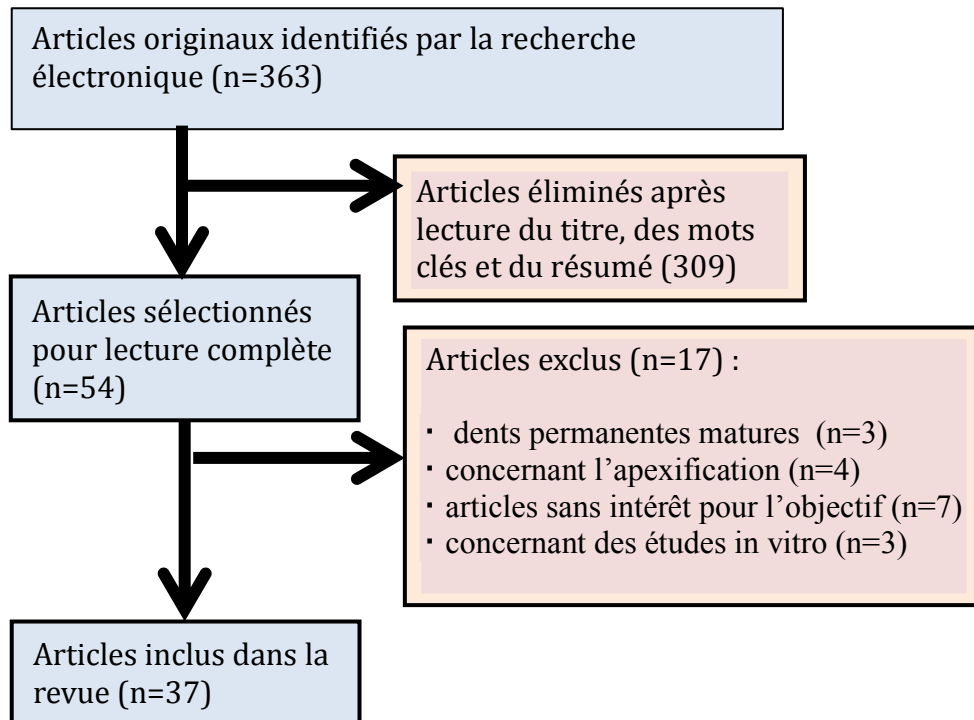
Tableau XII: Historique de la recherche électronique (apexogénèse)

Numéros de recherche	Mots clés	Nombre d'articles
1	Dental Caries	44095
2	Apexogenesis	360
3	Pulp Capping	2031
4	Pulpotomy	1360
5	Immature Teeth	860
6	Dental Traumatology	1310
7	MTA	4060
8	Mineral trioxyde aggregate	1216
9	Biodentine®	90
10	Calcium Hydroxyde	16
11	2 AND 3	43
12	2 AND 3 AND 5	14
13	8 OR 9 OR 10	1293
14	13 AND 2	126
15	13 AND 4	130
16	13 AND 3	207
17	14 OR 15	242
18	17 AND 5	79
19	16 AND 5	16
20	15 AND 5	14
21	14 AND 5	72

Après comparaison des différentes requêtes et élimination des références citées plusieurs fois, nous avons identifié 363 références.

L'organigramme de la RSL ayant pour objectif d'identifier tous les documents décrivant les techniques d'apexogénèse sur des dents permanentes immatures avec une pulpe vivante est présenté dans la figure 14.

Figure 14: Organigramme de la revue systématique de littérature (apexogénèse)



A la suite de la lecture des titres, mots clés et résumés des 363 références identifiées, 309 articles n'ont pas été sélectionnés :

- 189 étaient des études sur les techniques d'apexification ou concernaient des dents permanentes matures ou dents temporaires
- 52 portaient sur les animaux
- 31 étaient des rapports de cas avec un seul cas clinique
- 24 ne portaient pas sur le sujet demandé
- 9 ne correspondaient pas aux objectifs fixés précédemment

Après lecture complète des 54 articles présélectionnés, 17 ont été exclus :

- 3 concernaient des dents permanentes matures
- 4 concernaient les techniques d'apexification
- 7 n'avaient pas d'intérêt pour le sujet
- 3 étaient des études *in vitro*

Ainsi trente-sept références ont été incluses dans cette RSL.

II. Extraction des données

Les trente-sept références sélectionnées (10-17-24-27-29-31-34-35-41-60-62-64-65-69-71-73-75-81-82-83-84-85-86-87-88-89-90-91-92-93-94-95-96-97-98-99-100) ont fait l'objet d'une analyse détaillée de la méthodologie utilisée et des résultats, nous avons choisi d'exposer les résultats dans les deux chapitres suivants et d'axer notre discussion sur le choix du matériau en fonction des indications thérapeutiques.

Dans un premier temps nous allons exposer les thérapeutiques, leurs indications et les protocoles en fonction des situations cliniques :

- Thérapeutiques en cas de proximité pulpaire avec pulpe vivante-atteinte septique
- Thérapeutiques en cas d'exposition pulpaire sur pulpe vivante- atteinte septique
- Thérapeutiques en cas d'exposition pulpaire sur pulpe vivante- atteinte non septique

Pour cela les variables relevées sont : indications et contre-indications de la thérapeutique, choix du matériau, mise en œuvre clinique en fonction du matériau.

Dans un deuxième temps, nous présenterons les résultats-discussion concernant le choix du matériau en fonction de la thérapeutique choisie. Pour cela nous avons relevé les variables suivantes : l'échantillon, indications de la thérapeutique, le suivi, le matériau employé, les critères et le pourcentage de réussite, les échecs et complications associés.

Chapitre 1

Diagnostics et décisions thérapeutiques

I. Lésion carieuse sans atteinte pulpaire - pulpe vivante

La présence d'une atteinte carieuse profonde sur une dent permanente immature peut entraîner des complications pulpaires par la prolifération bactérienne. Afin de conserver la vitalité pulpaire de la dent et permettre l'édification radiculaire, il est primordial de protéger le tissu pulpaire (41-42-43-44).

1. Les traitements pulpaires indirects

1.1. Définition et caractéristiques

Il y a différentes techniques pour le traitement des lésions carieuses profondes à évolution rapide (43-45) : d'une part le coiffage pulpaire indirect et d'autre part la technique « stepwise » qui elle-même consiste soit en une éviction « raisonnée » soit en une éviction partielle ultra-conservatrice de la dentine cariée (44-46-47). Le principe étant d'éliminer plus ou moins partiellement la dentine infectée, qui sera recouverte par un matériau de coiffage et une restauration coronaire étanche. Il s'agit d'éviter toute exposition pulpaire et de conserver la vitalité de la dent qui pourra poursuivre son apexogénèse (48). Les différentes indications et contre-indications des traitements pulpaires indirects sont exposées dans le tableau XIII.

Tableau XIII: Indications et contre-indications des traitements pulpaires indirects

Indications	<ul style="list-style-type: none"> • ICDAS 5-6 • Catégories I et II de Baume
Contre-indications absolues	Toute pathologie générale susceptible d'être aggravée par l'existence d'une infection dentaire aiguë ou chronique
Contre-indications relatives	<ul style="list-style-type: none"> • Exposition pulpaire d'origine traumatique où le temps de latence détermine le succès du traitement • Précédentes réparations dentinaires qui diminuent le potentiel réparateur. • Délabrement coronaire trop importante rendant impossible la reconstitution coronaire • Dent symptomatique : catégories III et IV de Baume

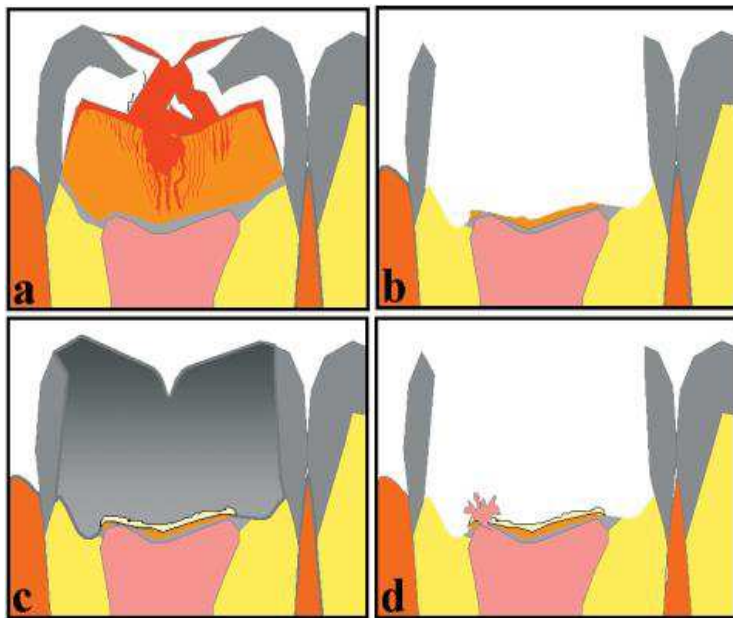
1.2. Mise en œuvre clinique

La technique du coiffage pulpaire indirect se fait en une étape clinique et est employée majoritairement en denture temporaire ou mixte (49). Alors que la technique stepwise se fait en deux étapes cliniques sur dents permanentes (matures et immatures) (49).

La principale différence entre ces deux techniques est la notion de ré-intervention (47-49).

Les protocoles de réalisation du coiffage pulpaire indirect et de la technique stepwise sont respectivement décrits dans les figures 15-16 et 17-18.

Figure 15: Coiffage indirect (49)



Coiffage indirect : (43-47-49)

- (a-b) éviction complète de la dentine infectée et partielle de la dentine affectée en laissant une fine couche au contact de la pulpe
- (c) mise en place d'un matériau de coiffage CaOH_2 , MTA, Biodentine[®], CEM ciment
Réalisation d'une restauration coronaire étanche définitive car absence de ré-intervention
- (d) risque d'exposition pulpaire et de pulpite irréversible (46)

Figure 16: Cas clinique d'un coiffage indirect sur une DPI (50)



Radiographie pré-opératoire de M1 d'un enfant de 6.5 ans



Radiographie à 1 semaine après réalisation du coiffage direct



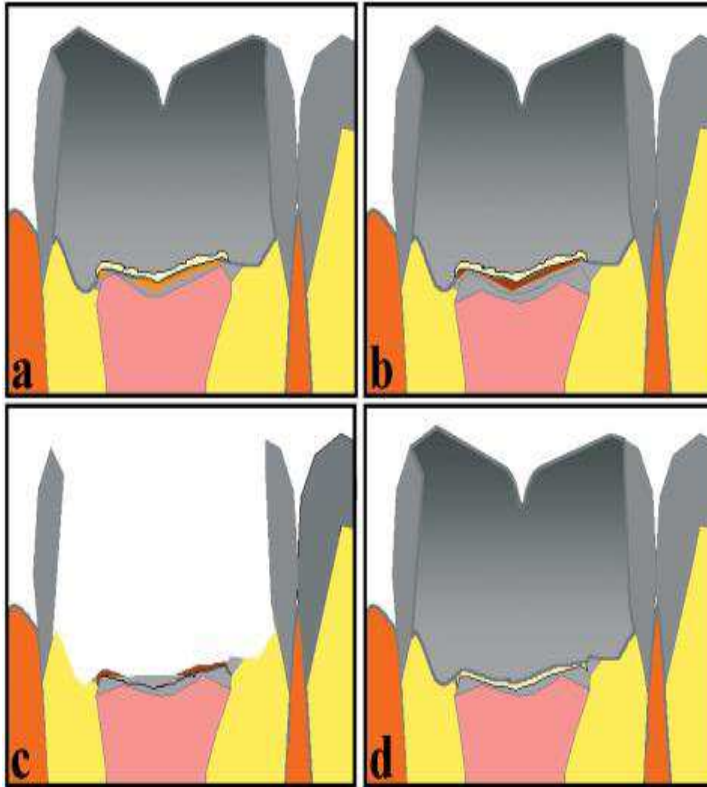
Radiographie de contrôle à 2.5 ans



Radiographie de contrôle à 5 ans

Source : Dr GRUYTHUYSEN

Figure 17: Technique stepwise (49)



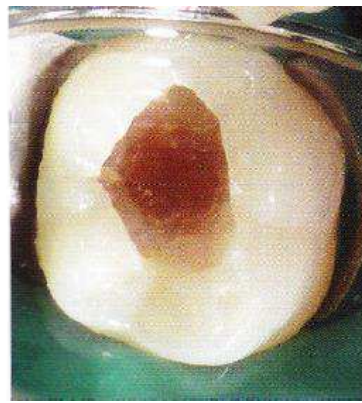
Stepwise technique : (51)

- (a) ouverture à minima pour donner un accès à la dentine altérée
excavation de la dentine infectée proche de la pulpe
les bords périphériques de la cavité doivent être parfaitement nettoyés
- (b) restauration provisoire stratifiée
 - hydroxyde de calcium + CVI (type CVIMAR) + Amalgame/ Composite
 - CVI (type CVIMAR) + Amalgame/ Composite
- (c) ré-intervention à 6-12 mois :
élimination de la restauration et du fond de cavité provisoires
- (d) vérification de la reminéralisation et réalisation d'une obturation coronaire définitive

Figure 18: Cas clinique sur la technique stepwise. (51)



Vue départ 46 avec
lésion ICDAS 6



Nettoyage suivant la
méthode stepwise

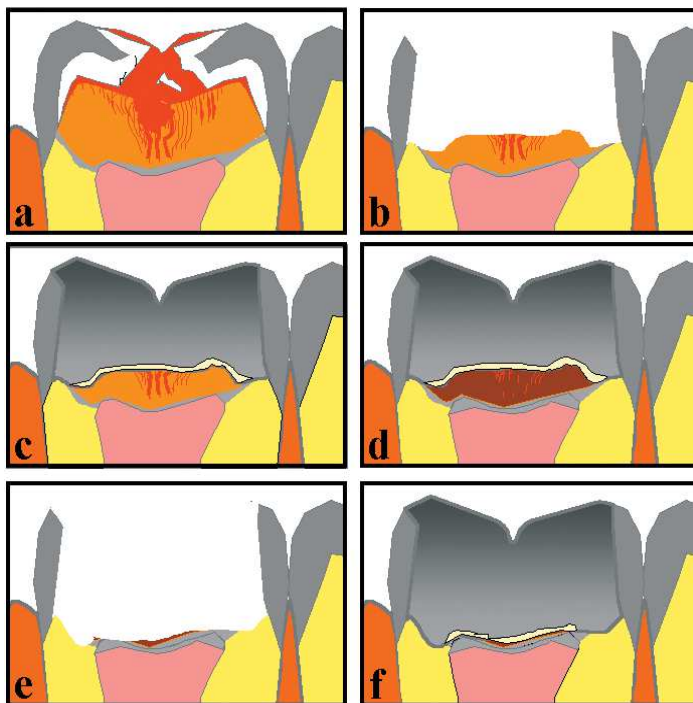


Mise en place de la
Biodentine®

Source : Dr COURSON.F

Plus récemment la notion d'éviction partielle ultra-conservatrice de la dentine cariée, ou technique stepwise moins invasive, est proposée et détaillée dans la revue Cochrane en 2006 (52). Une masse plus importante de la lésion carieuse est laissée en place sur la pulpe, le but étant la modification de l'environnement cariogénique par la diminution du nombre de bactéries ayant pour conséquence le ralentissement ou l'arrêt de l'évolution carieuse. Le protocole de réalisation de la technique d'éviction partielle ultra-conservatrice de la dentine cariée est décrit dans la figure 19.

Figure 19: Technique stepwise modifiée : éviction partielle ultra-conservatrice de la dentine cariée. (47-49)



Technique d'éviction partielle : (43-46-47-49-52)

- (a-b) élimination de la dentine cariée le long de la jonction amélo-dentinaire éviction de la partie superficielle de la dentine infectée laissant une masse carieuse au-dessus de la pulpe
- (c) mise en place d'un hydroxyde de calcium et d'une restauration provisoire étanche
- (d-e) ré-intervention à 3-6mois : élimination de la restauration provisoire et excavation définitive de la carie restante
- (f) restauration coronaire définitive

Cependant cette technique ne fait l'objet d'aucun consensus à l'heure actuelle et le terme d'éviction partielle ultra-conservatrice peut se référer aussi bien à une absence d'excavation qu'à une excavation proche de la pulpe (identique à la technique stepwise) (43-47-52).

1.3. Quelle technique choisir ?

L'ensemble des articles trouvés à ce sujet ne font pas partie de notre RSL, pour cause ces techniques « stepwise » ont été décrites majoritairement sur dents permanentes matures. Mais cela n'empêche en rien leur utilisation sur les DPI, au vue de leurs capacités physiologiques de réparation supérieures aux dents matures auraient probablement un meilleur taux de succès.

L'étude de Bjørndal en 2002 (49) révèle un taux de succès de 92% à 4.5 ans pour la technique stepwise, faisant de cette technique une alternative clinique intéressante au coiffage indirect. L'élimination partielle de la lésion carieuse réduit de 98% le risque d'exposition pulpaire au moment du curetage comparativement au coiffage indirect (35-44). C'est une technique qui contrôle la progression de la carie et induit des mécanismes de défense physiologiques au niveau du complexe pulpo-dentinaire (44).

Une seule étude sur DPI existe, publiée par Leksell en 1996 (53) dans laquelle il montre que 18% des pulpes sont exposées avec la technique stepwise contre 40% avec la technique du coiffage indirect autant lors du curetage de la lésion carieuse que lors de la ré-intervention.

Un autre article publié dans la revue Cochrane en mars 2013 par Ricketts et al. regroupant 8 études (1372 dents) confirme le fait que l'exposition pulpaire est plus fréquente lorsque le retrait complet de la carie se fait en une séance : 347/1000 dents contre 154/1000 dents (54).

Bien que la notion d'éviction de l'exposition pulpaire soit plutôt en faveur de la technique stepwise une autre question, qui est celle de l'intérêt de la ré-intervention, reste toujours ouverte dans la littérature. Trois études de Maltz et al. en 2007 (55), 2012 (56) et 2013 (57) comparent ces deux techniques. En 2012 une absence de différence significative à 18 mois entre le coiffage indirect (99%) et la technique stepwise (86%) permet à Maltz d'en conclure que la ré-intervention (dans le cadre de la technique stepwise) dans le but d'éliminer les résidus de dentine infectée n'est pas nécessaire et sans conséquence sur la vitalité pulpaire. Les études de 2007 et 2013 confirment ce résultat. Enfin une dernière étude de Gruythuisen et al. en 2010 (50) rejoint les études de Maltz et révèle un taux de succès à 4 ans de 93% en faveur du coiffage indirect.

Cependant aucune étude ne permet de prouver que l'élimination partielle de la carie soit nécessaire pour le succès du traitement ; ce dernier étant plutôt assuré par une bonne restauration coronaire étanche (35-45-58). Face au manque d'étude il est impossible de déterminer de manière évidente quelle technique le chirurgien-dentiste doit adopter face à une lésion carieuse profonde asymptomatique (59).

En ce qui concerne les matériaux aucune étude issue de notre RSL ne permet d'indiquer plus particulièrement tel ou tel matériau pour le traitement pulpaire indirect. L'hydroxyde de calcium, l'oxyde de zinc eugénol, le CVI (type CVIMAR), le MTA ... sont les plus couramment utilisés (58). Une étude montre que sur les 3 premiers mois le MTA a un taux de succès (93%) supérieur à celui du Dycal® (73%). Cependant cette différence significative s'annule lors du deuxième contrôle à 6 mois (60).

Cette absence de différence significative ne permet pas d'affirmer ou d'infirmer une efficacité supérieure pour le MTA dans le cas des coiffages indirects.

L'utilisation d'autres matériaux, plus récents, comme la Biodentine® et le CEM ciment, indiqués pour le coiffage indirect, n'a que peu de recul clinique.

2. La pulpotomie partielle.

2.1. Définition et caractéristiques

Autrement appelée pulpotomie de Cvek ou pulpotomie haute, elle consiste selon l'American Association of Endodontists en une éviction chirurgicale du tissu pulpaire inflammé dans le but de préserver la vitalité pulpaire et permettre ainsi la poursuite de la radiculogénèse et la formation d'une barrière tissulaire résistante (61). C'est une alternative au coiffage direct, il est en effet préférable de ne pas mettre un matériau directement au contact d'un tissu inflammé (43).

Les indications et contre-indications de la pulpotomie partielle sont regroupées dans le tableau XIV.

Tableau XIV: Indications et contre-indications de la pulpotomie partielle

Indications	<ul style="list-style-type: none"> Exposition pulpaire d'origine carieuse (43-61) : catégorie I et II de Baume Exposition pulpaire d'origine traumatique de plus de 24h (Cvek 1978 et (61)) et DPI saine
Contre-Indications	<ul style="list-style-type: none"> Absence de contrôle de l'hémostase indiquant une inflammation pulpaire irréversible (61) Catégorie III et IV de Baume Pulpe avec des antécédents de traumatisme et d'inflammation carieuse (diminution de la résistance pulpaire) Pose de digue impossible (absence d'étanchéité)

2.2. Mise en œuvre clinique

Avant de commencer tout protocole il faut bien s'assurer que l'atteinte pulpaire est réversible (catégorie I et II de Baume).

Les protocoles opératoires varient en fonction des matériaux utilisés, seules les sept premières étapes sont communes, nous les appellerons étapes initiales.

Etapes initiales

1. Radiographie préopératoire
2. Anesthésie locale
3. Isolation de la dent par pose de la digue
4. Elimination du tissu carié
5. Amputation de 2-3 mm de pulpe inflammée, avec fraise boule diamantée et une bonne irrigation
6. Rinçage de la cavité avec une solution saline pour diminuer la contamination bactérienne (62)
7. Hémostase achevée par irrigation avec du NaOCl à 6% (62)

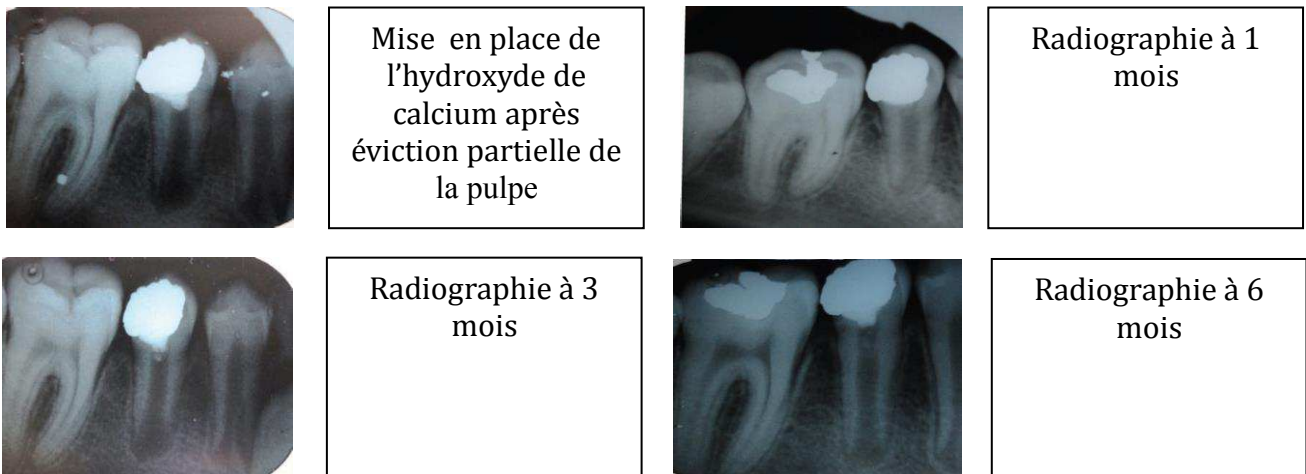
Hydroxyde de calcium

8. Mise en place de l'hydroxyde de calcium au contact de la pulpe exposée (figure 20)
9. Le matériau de coiffage est alors recouvert par un CVI
10. Ce dernier recouvert dans la même séance par une obturation coronaire étanche (composite...)

Suivi (63)

Clinique et Radiographique
à 3-6-12 et 24 mois

Figure 20: Cas clinique d'une pulpotomie partielle avec l'hydroxyde de calcium.



Source : Dr BACAKSIZ A. et Dr ALACAM A.

MTA / CEM ciment

8. Dépôt de 2mm MTA (64-62) au contact de la pulpe sans pression (65) à l'aide d'un porte amalgame (66)
9. Mise en place d'un coton humide sur le MTA
10. Restauration coronaire provisoire au CVI

2ème temps opératoire minimum 48h après (65)

11. Dépose de l'obturation provisoire et vérification par sondage de la prise du CEM ciment (66)
12. Mise en place de l'obturation coronaire étanche

Suivi (64-65-66)

Clinique et Radiographique

- MTA : à 3-6-12 et 24 mois
- CEM ciment : 6 et 12 mois

Biodentine®

8. Préparation de la Biodentine® (67)
9. Mise en place de la Biodentine® au contact de la pulpe exposée (figure 21) à l'aide d'un porte amalgame ou d'une spatule (67)
10. Remplir toute la cavité avec de la Biodentine® (32)

2ème temps opératoire (32)

11. La Biodentine® est conservée comme substitut dentinaire et amélaire sur une période de 48h à 6 mois
12. Elle est ensuite conservée comme substitut dentinaire uniquement et la partie amélaire est reconstituée définitivement par un composite

Suivi (67)

Clinique et Radiographique
à 3 et 6 mois

Figure 21: Cas clinique d'une pulpotomie partielle sur DPI avec de la Biodentine® (67)



Radiographie
pré-opératoire
d'une DPI 45
avec carie
occlusale
proche de la
pulpe



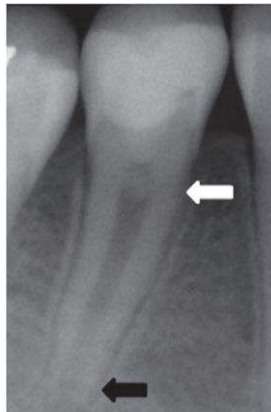
Après curetage
de la carie et
pulpotomie
partielle



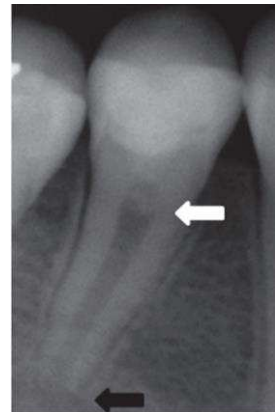
Biodentine®



Radiographie
après mise en
place de la
Biodentine®



Radiographie à
3 mois



Radiographie à
6 mois

La pulpotomie partielle est le traitement de choix pour les expositions pulpaire d'origine carieuse sur les DPI (64-68). Cependant si l'atteinte pulpaire est plus importante que prévu et que la simple amputation de la partie coronaire de la pulpe ne suffit pas à contrôler l'hémostase, le praticien doit étendre son amputation pulpaire et pratiquer une pulpotomie totale (43-58). Celle-ci est effectuée en dernier recours car elle entraîne une destruction du complexe cellulaire de la DPI arrêtant ainsi la formation de dentine et pouvant causer l'oblitération canalaire (64).

3. La pulpotomie totale

3.1. Définition et caractéristique

La pulpotomie totale, proposée dans les années 70 par Marmasse (43-69) est l'élimination de l'intégralité de la pulpe camérale jusqu'aux orifices canaux (61).

Le but de cette thérapeutique est de placer un matériau de coiffage directement au niveau de la pulpe radiculaire (43) permettant ainsi de conserver la vitalité pulpaire de la dent permanente immature et permettre la fin de l'édification radiculaire.

Les indications et contre-indications de la pulpotomie totale sont regroupées dans le tableau XV.

Tableau XV: Indications et contre-indications de la pulpotomie totale (43-61)

Indications	<ul style="list-style-type: none"> • Indications identiques à la pulpotomie partielle • Inflammation pulpaire plus étendue que pour la pulpotomie partielle, si l'hémostase n'est pas obtenue par simple amputation des 2-3 premiers millimètres de la pulpe il faut alors amputer totalement la pulpe camérale
Contre-Indications	Identiques à celles pour la pulpotomie partielle

3.2. Mise en œuvre clinique avec les différents matériaux

Les protocoles opératoires varient en fonction des matériaux utilisés, seules les six premières étapes sont communes, nous les appellerons étapes initiales.

Etapas initiales

1. Radio préopératoire
2. Anesthésie locale
3. Mise en place de la digue
4. Elimination du tissu carié
5. Elimination de la pulpe camérale
6. Hémostase avec une solution saline dans un premier temps puis avec du NaOCl à 5%(43)

Hydroxyde de calcium (70)

7. Mettre en place d'une première couche d'hydroxyde de calcium au contact de l'orifice canalaire et tasser légèrement
8. Restauration coronaire définitive, idéalement CVI + Composite ou CVI + coiffe pédodontique si la reconstitution coronaire est impossible.

Suivi :
Clinique et Radiographique
jusqu'à la fermeture apicale

MTA / CEM Ciment

7. Dépôt du MTA (71-72-73) et CEM ciment (72-74)(figure22) sur 2 mm, en couches successives, au contact de la pulpe et des parois, tasser légèrement avec un coton humidifié
8. Mise en place d'un coton humidifié au contact de la dernière couche
9. Obturation coronaire temporaire (ciment oxyde de zinc eugénol (71), Cavit (72) ...)

2^{ème} temps opératoire 3 jours après (71-72)

10. Elimination de l'obturation coronaire temporaire, vérification de la prise du MTA
11. Reconstitution coronaire définitive étanche au composite si possible ou avec une coiffe

Suivi : (71-72)
Clinique et Radiographique
à 3-6-12 et 18 mois

Figure 22: Cas clinique d'une pulpotomie totale sur DPI avec le CEM ciment



Radiographie pré-opératoire de la DPI M2 avec une lésion carieuse profonde



Mise en place d'un CEM ciment et de la restauration coronaire provisoire



Radiographie à 12 mois

Source : Dr NOSRAT A. et Dr ASGARY S. (74)

ZOE

Encore une fois le protocole et le suivi sont identiques à celui avec le MTA et le CEM ciment.

La seule exception est l'absence de mise en place de coton humidifié au-dessus du matériau de coiffage (72- 75)

Biodentine®

Aucune étude n'existe actuellement dans la littérature concernant la réalisation de la pulpotomie haute avec de la Biodentine® sur les DPI.

Selon le fabricant la technique de réalisation de la pulpotomie totale avec la Biodentine® est identique à celle de la pulpotomie partielle (32).




L'objectif principal de la pulpotomie, totale ou partielle, est de permettre la fermeture apicale physiologique de la DPI tout en conservant sa vitalité pulpaire. On peut alors se poser la question de la nécessité du traitement endodontique maintenant que l'apex est fermé (76). Pour la plupart des auteurs il semblerait que le traitement endodontique soit la suite logique (43) en revanche si l'absence de lésion apicale est observée et si la DPI conserve sa vitalité pulpaire il paraît alors injustifié de dévitaliser la dent.

II. Exposition pulpaire traumatique - pulpe vivante

Nous ne considérerons que les cas où la pulpe est saine avant le traumatisme (dent indemne de lésion carieuse). Les traumatismes alvéolo-dentaires touchent en majorité la dentition permanente immature (63-77). Une étude de l'IADT sur 12 ans démontre que 25% des enfants et 33% des adultes ont connu un traumatisme dentaire avant l'âge de 19 ans (78). Le rôle du praticien est alors d'intervenir rapidement pour préserver la pulpe de toute contamination bactérienne et de conserver ainsi tout son potentiel réparateur.

Les différentes indications préconisées par l'IADT dans le cas de traumatisme sur DPI sont regroupées dans le tableau XVI.

Tableau XVI: Indications de thérapeutique pulpaire dans les cas de traumatismes selon l'IADT 2012 (78)

Type de traumatisme	Aspects Cliniques	Aspects Radiographiques	Traitements	Suivi	Réévaluation
 Enamel-dentin fracture	<ul style="list-style-type: none"> • Absence d'exposition pulpaire • Percussion : - • Sensibilité : + • Mobilité : normale 	<ul style="list-style-type: none"> • Radio péri-apicale, occlusale et excentrée (vérifier l'absence de fracture radiculaire ou de déplacement de la dent ...) • Radio des lèvres (recherche de matériaux étrangers ou du fragment dentaire) 	<ul style="list-style-type: none"> • Recoller le fragment dentaire si possible sinon reconstitution au composite par exemple • Si la proximité pulpaire est <0.5mm réalisation d'un coiffage pulpaire indirect 	<ul style="list-style-type: none"> • 6 à 8 semaines • 1 an 	<ul style="list-style-type: none"> • Vérifier la vitalité pulpaire • Dent asymptotique • Vérifier la poursuite de l'édification radiculaire
 Enamel-dentin pulp-fracture	<ul style="list-style-type: none"> • Exposition pulpaire • Percussion : - • Sensibilité : + • Mobilité : normale 	<ul style="list-style-type: none"> • IDEM 	<ul style="list-style-type: none"> • Conservation de la vitalité pulpaire sur DPI • Coiffage pulpaire ou Pulpotomie partielle 	<ul style="list-style-type: none"> • 6 à 8 semaines • 1 an 	<ul style="list-style-type: none"> • Dent asymptotique • Vérifier la vitalité pulpaire • Vérifier la poursuite de l'édification radiculaire
 Crown-root fracture (complicated)	<ul style="list-style-type: none"> • Exposition pulpaire • Percussion : + • Fragment coronaire mobile 	<ul style="list-style-type: none"> • Extension apicale et fracture souvent invisible • Radio péri-apicale et occlusale 	<ul style="list-style-type: none"> • Conservation de la vitalité pulpaire sur DPI • Pulpotomie partielle 	<ul style="list-style-type: none"> • 6 à 8 semaines • 1 an 	<ul style="list-style-type: none"> • Dent asymptotique • Vérifier la vitalité pulpaire • Vérifier la poursuite de l'édification radiculaire

La préservation de la vitalité pulpaire est le principal objectif afin de permettre une fermeture apicale physiologique (78).

Le traitement d'une exposition pulpaire traumatique sur DPI passe donc :

- soit par la technique du coiffage pulpaire direct
- soit par la pulpotomie (partielle ou totale) (63)

Toutes les thérapeutiques d'apexogénèse peuvent être indiquées, la discussion reste ouverte essentiellement sur la réalisation d'un coiffage direct ou d'une pulpotomie partielle.

Le choix entre ces deux techniques est fonction de (63-77) :

- la taille de l'exposition pulpaire
- l'intervalle de temps entre le traumatisme et la prise en charge du jeune patient
- degré de maturation de la dent

Certains auteurs comme Olsburgh et coll en 2003 ou Vinckier et coll en 1998 (79) estiment que si l'exposition pulpaire est inférieure à 1.5 mm un coiffage direct est indiqué alors que si elle est supérieure à 1.5 mm il faut réaliser une pulpotomie partielle.

D'autre part dans le cas d'exposition pulpaire Cvek et al. (80) a démontré que la DPI conserve sa vitalité pulpaire pendant 7 jours et que seuls les 2 premiers millimètres de pulpe sont inflammés et doivent être retirés (pulpotomie partielle) (79-80).

Selon les données de l'IADT(78) et les études présentes dans la littérature on réalise :

- un coiffage pulpaire dans le cas d'une exposition récente (inférieure à 24H) et de faible étendue (fracture amélo-dentinaire avec exposition pulpaire inférieure à 1.5mm)
- une pulpotomie partielle (ou totale) dans le cas d'une exposition pouvant aller jusqu'à 168H (7 jours) et d'étendue supérieure à 1.5 mm (fracture corono-radiculaire complexe). Dans ce cas les protocoles sont les mêmes que ceux exposés précédemment. Un exemple de pulpotomie avec le MTA est présenté par Maturo et al (31) repris dans la figure 23.

Figure 23: Cas clinique d'une pulpotomie totale avec le MTA sur DPI (31)



Fracture coronaire
complexe sur 11 et 21



Radiographie
pré-opératoire



Mise en place
du MTA



Radiographie de
contrôle à 24 mois

Source : Dr MATURO P.

Dans cette deuxième partie du chapitre 1, seul le protocole du coiffage pulpaire direct sera détaillé, ceux de la pulpotomie partielle et totale ayant précédemment été décrits.

1. Le coiffage pulpaire direct

1.1. Définition et caractéristiques

Le coiffage pulpaire est défini par l'American Association of Endodontists comme le traitement de l'exposition pulpaire par la mise en place d'un matériau de coiffage (ex : l'hydroxyde de calcium, le MTA, la Biodentine®...). Le principe étant d'engendrer la formation de dentine réparatrice (formation d'un pont dentinaire) et de conserver la vitalité pulpaire de la dent permanente immature permettant l'apexogénèse (61).

Les indications et contre-indications du coiffage pulpaire direct sont exposées dans le tableau XVII.

Tableau XVII: Indications et contre-indications du coiffage pulpaire direct

indications	générales	Exposition pulpaire d'une dent vivante et asymptomatique ou d'une dent vivante symptomatique mais dont la symptomatologie est compatible avec une pulpite réversible (Académie canadienne d'endodontie) : • Catégorie I et II de Baume
	étiologie carieuse	<u>Selon l'European Society of Endodontology, 2006</u> • Reconstitution coronaire possible • Pulpite réversible • Restauration étanche possible (pose de digue)
	étiologie traumatique	• Fracture coronaire complexe • Pulpe saine • Exposition pulpaire inférieure à 1,5mm • Exposition pulpaire inférieure à 24 heures, pour limiter la contamination bactérienne et l'apparition d'une pulpite irréversible • Délabrement coronaire limité.
	étiologie mécanique	L'exposition pulpaire d'origine mécanique est accidentelle et intervient lors d'une préparation cavitaire en l'absence de phénomène carieux préalable. La pulpe ainsi mise à nue est alors considérée comme indemne de toute invasion bactérienne et conserve un potentiel de réparation aussi important qu'une pulpe saine.
Contre-Indications	absolues	<u>Selon les nouvelles recommandations de l'AFSSAPS :</u> • Patient à risque • Immunodéprimé • Haut risque d'endocardite • Patient avec trouble crase sanguine
	relatives	• Traumatisme supérieur à 24H • Catégorie III et IV de Baume • Saignement pulpaire incontrôlable • Reconstitution coronaire impossible • Pose de digue impossible • Antécédents de pathologies pulpaire (présence radiographique de calcification pulpaire)

1.2. Mise en œuvre clinique avec les différents matériaux

A l'heure actuelle le matériau le plus utilisé pour les coiffages pulpaire directs est l'hydroxyde de calcium utilisé en dentisterie depuis 1921 et considéré comme étant le matériau de choix (35).

Le MTA (81), le CVIMAR (figure 25) et plus récemment la Biodentine® et le CEM ciment sont également indiqués dans le cadre de coiffage direct.

Les protocoles opératoires varient en fonction des matériaux utilisés, seules les sept premières étapes sont communes, nous les appellerons étapes initiales

Etapes Initiales

1. Contrôle de la vitalité pulpaire
2. Radiographie préopératoire
3. Anesthésie locale si nécessaire
4. Pose de la digue
5. Si étiologie carieuse : curetage dentinaire
6. Si étiologie traumatique : nettoyage de la plaie pulpaire
7. Hémostase : obtenue grâce à du NaOCl sur une boulette de coton

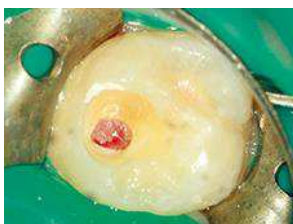
Hydroxyde de calcium*

8. Mise en place de l'hydroxyde de calcium au niveau de l'exposition pulpaire (82) (figure 24)
9. Elimination de l'hydroxyde de calcium présent sur les parois dentinaires pour une bonne herméticité de la restauration
10. Restauration coronaire étanche immédiate au CVI

Suivi :
Clinique et Radiographique à 1-3-6 et 9 mois

**L'hydroxyde de calcium est utilisé dans sa forme magistrale, le mélange poudre liquide nous permet d'obtenir une pâte homogène qui sera placée au contact de la pulpe.*

Figure 24: Coiffage direct avec l'hydroxyde de calcium



Vue occlusale
de l'exposition
pulpaire après
curetage de la
carie



Coiffage
pulpaire direct
avec
l'hydroxyde de
calcium

Source : Dr SIMON S.

Le facteur déterminant pour le succès du coiffage pulpaire direct est la capacité à contrôler le saignement pulpaire.

Une hémorragie incontrôlable peut indiquer une infection pulpaire plus importante pour laquelle le coiffage pulpaire direct ne serait plus forcément une indication. De plus l'hémorragie pulpaire empêche la réalisation d'une obturation étanche.

L'hémostase est obtenue en plaçant une boulette de coton imbibée d'Hypochlorite de Sodium ($\text{NaOCl} \geq 5\%$) sur le site exposé (35-62- 83).

Le NaOCl possède des propriétés antibactériennes et permet un meilleur contrôle de l'hémorragie pulpaire que la Chlorhexidine ou le peroxyde d'hydrogène (35).

Figure 25: Cas clinique d'un coiffage direct au CVIMAR. (51)



Vue de départ :
carie occlusale
sur 36
(ICDAS 6)



Nettoyage à
l'excavateur sur
les parois et la
partie proche
de la pulpe



Dentine
affectée
restante



Mise en place
d'acide
orthophospho-
rique



CVIMAR en
fond de cavité



Mordançage



Mise en place
d'adhésif



Reconstitution
coronaire au
composite

Source : Dr COURSON F

MTA*/CEM ciment

8. Préparation du MTA/ CEM ciment

9. Application du MTA/CEM ciment sur la zone d'exposition pulpaire (31-84-85) (figure 26)

10. Mise en place d'une boulette de coton humidifiée au contact du MTA/CEM ciment.

Le temps de prise du MTA est de 3-4H en milieu humide.

11. Restauration coronaire étanche provisoire

2^{ème} temps opératoire :

12. Dépose de la restauration coronaire provisoire

13. Vérification au sondage de la prise du MTA/
CEM ciment

14. Restauration coronaire étanche définitive

Suivi :

Clinique et Radiographique à 1-3-6 et 9
mois

* Le MTA est commercialisé sous forme de poudre dans des sachets individuels. Chaque sachet est accompagné d'une dose d'eau qui permettra d'obtenir un mélange idéal

Figure 26: Cas clinique coiffage direct avec du MTA



Radiographie
pré-opératoire
d'une DPI avec
une lésion
cariéuse



Vue occlusale
après curetage de
la lésion carieuse



Radiographie
après mise en
place du MTA



Radiographie de
contrôle à 12
mois

Source : Dr MATURO P. (31)

Biodentine® *

8. Préparation de la Biodentine®

9. Placer la Biodentine® au contact de la pulpe sans compression excessive (86)

10. Remplir la cavité de Biodentine (figure 27)

2^{ème} temps opératoire**

11. Réalisation de la restauration coronaire définitive étanche sur fond de cavité de Biodentine®

Suivi :

Clinique et Radiographique à 1-3-6 et 9 mois

**La Biodentine® se présente sous la forme de capsule de poudre associée à une mono dose d'eau.*

***Il est également possible de réaliser l'obturation définitive lors de la 1^{ère} séance mais il faut attendre la polymérisation complète de la Biodentine® soit 12 à 15 minutes selon Septodont*

Figure 27 : Cas clinique coiffage direct avec la Biodentine®



Vue occlusale
après curetage de
la lésion carieuse



Mise en place de
la Biodentine®



Reconstitution
coronaire
définitive au 2^{ème}
temps opératoire

Chapitre 2

Quel matériau pour quel protocole, discussion

I. Choix des matériaux, résultats de la RSL

Les 8 articles sélectionnés par notre RSL, concernant les cas d'exposition pulpaire sur DPI, nécessitant une pulpotomie partielle (64-65-87-88) ou une pulpotomie totale (71-89-90-91), sont présentés respectivement dans les tableaux XVIII et XIX.

Les 12 articles sélectionnés par notre RSL, concernant les cas d'exposition pulpaire sur DPI, nécessitant un coiffage direct (82-83-84-86-92-93-94-95-96-97-99-98) sont répertoriés dans le tableau XX.

L'ensemble de ces résultats seront discutés par la suite.

II. Discussion

Le principal objectif des thérapeutiques décrites précédemment (coiffages pulpaire et pulpotomies) sur DPI est la conservation de la vitalité pulpaire afin de permettre la fermeture apicale physiologique (apexogénèse).

L'objectif étant le même, la discussion reste principalement ouverte sur le matériau à utiliser, en effet la majorité des articles qui s'apparentent à notre RSL porte sur les caractéristiques des matériaux et leur comparaison pour une même indication.

L'hydroxyde de calcium, considéré comme le matériau « gold standard » (61), présente un recul clinique important (70 ans), de nombreuses études lui sont consacrées regroupant 2300 cas de coiffages pulpaire et dont le taux de succès est de 90% (35).

Depuis quelques années l'hydroxyde de calcium se voit, dans la littérature, comparé au MTA.

Selon notre RSL 6 études sur les 10 dernières années comparent le CaOH_2 au MTA en ce qui concerne le coiffage direct sur DPI, une étude pour la pulpotomie totale (90) et deux études pour la pulpotomie partielle (87-88).

Un coiffage pulpaire ou une pulpotomie est réussi si un pont tissulaire complet ou partiel est formé sans communication entre l'agent de coiffage et la pulpe restante(100). Sur ce critère aucune différence significative entre le CaOH_2 et le MTA n'est à relever ; dans 100% des cas le

pont dentinaire est présent. Les études menées concernant le coiffage pulpaire direct sur DPI révèlent que la structure du pont dentinaire est plus résistante avec le MTA qu'avec le CaOH_2 (35-43-83-93-97-100) et plus épaisse (0.43mm d'épaisseur avec le MTA et 0.15 mm avec le CaOH_2) (64).

Des défauts structuraux ou « tunnels defects » au sein du pont dentinaire induit par le CaOH_2 résultent d'une mauvaise différenciation des odontoblastes. (64-83) Cette porosité rend ainsi favorable la prolifération bactérienne vers la pulpe et donc une contamination secondaire du tissu(43). En effet l'inflammation pulpaire et la persistance de signes cliniques sont plus importants dans le cas des coiffages avec le CaOH_2 (82-93-97).

Outre la composition du pont dentinaire, la littérature ne met en évidence aucune différence significative entre les deux matériaux en ce qui concerne le maintien dans le temps de la vitalité pulpaire, la présence du pont dentinaire et la poursuite de l'édification radiculaire ; et ceux pour toutes les techniques étudiées (82-84-87-88-90-93-95-96-97).

Le recul clinique concernant le MTA reste pourtant trop insuffisant et la durée d'observation des études existantes reste courte (9ans au maximum) (83).

On retrouve au total deux études concernant le coiffage direct sur DPI avec le MTA (83-94), deux études pour la pulpotomie partielle (64-65) et deux études pour la pulpotomie totale (71-91) dont une (71) nous révèle que l'utilisation du MTA gris dans le cadre de la pulpotomie totale entraîne une coloration coronaire dans 100% des cas.

Cette recherche ne permet donc pas au praticien de choisir de manière tranchée entre le MTA et la CaOH_2 lorsqu'il se retrouve face à une lésion carieuse importante sur DPI avec une pulpe vivante. Ce dernier peut alors se référer au prix du produit ou à la facilité de mise en place du matériau pour faire son choix.

Le MTA est plus facile d'utilisation que le CaOH_2 (Dycal®) (93), cependant concernant la pulpotomie totale le MTA est déconseillé car en cas d'échec de conservation de la vitalité pulpaire il est important de pouvoir éliminer le matériau de coiffage et accéder facilement aux orifices canaux pour effectuer une pulpectomie (58).

Enfin d'un point de vue économique le MTA reste bien plus cher que l'hydroxyde de calcium, 1 gramme de poudre de MTA coûte aussi cher que 24 grammes de pâte d'hydroxyde de calcium (35).

Plus récemment deux autres matériaux se voient comparés au MTA dans les études de la littérature, il s'agit du CEM ciment et de la Biodentine®.

En ce qui concerne la Biodentine®, une étude réalisée sur le rat a démontré l'édification d'un pont dentinaire lors d'un coiffage pulpaire (43). Une autre étude sur dents humaines a été réalisée (86) comparant la Biodentine® au MTA dans le cadre du coiffage direct. Un seul rapport de cas a été trouvé concernant l'utilisation de la Biodentine® pour une pulpotomie partielle (67) et aucune étude n'est actuellement répertoriée en ce qui concerne la pulpotomie totale.

Le peu d'études existant ne montrent aucune différence significative entre les deux matériaux faisant de la Biodentine® une alternative intéressante au MTA dans le cadre du coiffage pulpaire direct et de la pulpotomie partielle sur DPI (67-86).

Pour le CEM ciment, trois études et trois rapports de cas sont répertoriés dans la littérature. Deux études dans notre RSL (98-99) comparent ce nouveau ciment au MTA dans le cadre d'un coiffage pulpaire direct sur DPI. Un rapport de cas pour la pulpotomie partielle (66) et deux rapports de cas (72-74) et une étude (89) pour la pulpotomie totale.

Tout comme pour la Biodentine® aucune différence significative n'a été mise en évidence à 5 semaines pour le coiffage direct et à 12 et 18 mois pour la pulpotomie. Le CEM ciment peut aussi être considéré comme une alternative au MTA.

Cependant le faible recul clinique, suite à la récente mise sur le marché de ces deux produits, ne permet pas de connaître à long terme les avantages et les inconvénients du CEM ciment et de la Biodentine® par rapport au MTA dans le cadre des thérapeutiques de conservation de la vitalité pulpaire sur les DPI.

Tableau XVIII: Résultats de la RSL sur la pulpotomie partielle sur DPI.

Caractéristiques					Réussite		Echecs / Complications
Références/ Pays	Echantillon (nombre)	Suivi (mois /ans)	Indications de la thérapeutique	Matériau	Critères	Pourcentage	
Barrieshi-Nusair et Qudeimat (64) Koweït	31 dents immatures	24 mois	Exposition carieuse	MTA	<ul style="list-style-type: none"> • Poursuite radiographique de l'apexogénèse • Formation du pont dentinaire • Maintien de la vitalité pulpaire 	<ul style="list-style-type: none"> • 100% • 64% • 79% 	NP
Barrieshi-Nusair et Qudeimat (87) Koweït	51 dents immatures	25.4 à 45.6 mois	Exposition carieuse	CaOH ₂ MTA	<ul style="list-style-type: none"> • Maintien de la vitalité pulpaire • Formation du pont dentinaire 	<ul style="list-style-type: none"> • 93% avec MTA et 91% avec CaOH₂ • 55% avec CaOH₂ et 64% avec MTA 	NP
Chailertvanitkul P et al (88) Angleterre	84 dents immatures	2 ans	Exposition carieuse	CaOH ₂ MTA	<ul style="list-style-type: none"> • Maintien de la vitalité pulpaire • Complications radiographiques péri-apicales 	81 dents /84	3 dents / 84
Emine ST, Tuba UA (65) Turquie	2 dents immatures	4.5 ans et 2 ans	Exposition traumatique	MTA	<ul style="list-style-type: none"> • Maintien de la vitalité pulpaire • Formation du pont dentinaire • Poursuite de l'apexogénèse 	100%	NP

NP : non précisé

Tableau XIX: Résultats de la RSL sur la pulpotomie totale sur DPI

Caractéristiques					Réussite		Echecs/Complications
Références	Echantillon (nombre)	Suivi (mois/ans)	Indications de la thérapeutique	Matériaux	Critères	Pourcentage	
Nosrat et al. (89) Iran	51 dents immatures	12 mois	Exposition carieuse	MTA (25) CEM ciment (26)	• Poursuite radiographique de l'apexogénèse • Maintien de la vitalité pulpaire • Fermeture apicale complète	100% 100% 76.8% avec CEM ciment 73.8% avec MTA	NP
Subay, Ilhan et Ulukapi (71) Turquie	6 dents immatures	55 mois	Exposition traumatique	MTA gris	• Maintien de la vitalité pulpaire • Formation du pont dentinaire • Poursuite édification radiculaire	4 dents /6	2 dents 100% coloration coronaire
El Meligy, Avery (90) Egypte	30 dents immatures	12 mois	Exposition traumatique(4) et carieuse (26)	MTA (15 dents) CaOH2 (15 dents)	• Signes cliniques • Signes radiographiques	87% CaOH2 100% MTA	NP
Witherspoon et al. (91) USA NP : non précisé	23 dents immatures	19.7 mois en moyenne	Exposition traumatique et carieuse	MTA	• Contrôle de l'hémostase	92%	Si absence de contrôle de l'hémostase pulpectomie

Tableau XX: Résultats de la RSL sur le coiffage pulpaire direct sur DPI

Références/ pays	Caracteristiques				Réussite		Echecs / Complications
	Echantillon (nombre)	Suivi (mois/ans)	Indications de la thérapeutique	Matériau	Critères	Pourcentage	
Mente et al (95) Allemagne	108 patients (112 dents traitées)	12-80 mois	NP	MTA (69) CaOH2 (53)	Maintien de la vitalité pulpaire	<ul style="list-style-type: none"> 78% de réussite avec MTA 60% de réussite avec CaOH2 	NP
Toru Naito (96) Japon	112 dents	12-80 mois	NP	MTA (69) CaOH2 (53)	Maintien de la vitalité pulpaire	<ul style="list-style-type: none"> 78% avec MTA 60% avec CaOH2 	NP
Cho et al (92) Corée	175 dents	9mois à 3.7 ans	NP	MTA (70) CaOH2 (105)	<ul style="list-style-type: none"> Matériaux utilisée Age Localisation de la carie 	<ul style="list-style-type: none"> MTA : 89.9% à 1 an et 67.4% à 3 ans CaOH2 : 73.9% à 1 an et 52.5% à 3 ans 	Absence de différence significative après 100 jours pour les autres critères
Parolia et al (84) Inde	36 dents	45 jours	Exposition pulpaire mécanique	Propolis (12) MTA (12) CaOH2 (12)	<ul style="list-style-type: none"> Inflammation pulpaire Formation ud pont dentinaire 	<ul style="list-style-type: none"> Aucune différence significative à 45 jours 	NP
Farsi et al (94) Arabie Saoudite	30 dents immatures	24 mois	Exposition pulpaire Carieuse	MTA	<ul style="list-style-type: none"> Vitalité pulpaire Absence de douleurs spontanées Absence de lésion péri-apicale 	<ul style="list-style-type: none"> 93% de réussite à 24 mois 	NP
Bogen et al (83) Etats-Unis	53 dents (15 dents immatures)	9 ans	Exposition pulpaire carieuse	MTA gris (49) MTA blanc (4)	<ul style="list-style-type: none"> Maintien de la vitalité pulpaire Poursuite apexogénèse 	<ul style="list-style-type: none"> 100% poursuite apexogénèse sur les 15 DPI 98% de réussite sur la totalité de l'échantillon 	NP
Eskandarizadeh et al (93) Iran	90 dents	90 jours	Exposition carieuse ou traumatique	MTA gris (30) MTA blanc (30) CaOH2 (30)	<ul style="list-style-type: none"> Inflammation pulpaire Présence du pont dentinaire Epaisseur du pont dentinaire et composition 	<ul style="list-style-type: none"> 100% de maintien de la vitalité pulpaire et absence d'inflammation avec MTA 100% présence du pont avec MTA et CaOH2 Epaisseur du pont avec MTA > CaOH2 	20% de sensibilité pulpaire persistante avec CaOH2 Pont dentinaire plus fin avec CaOH2
Sawicki et al (97) Pologne	44 dents immatures	47 à 609 jours	Exposition mécanique	MTA (30) CaOH2 (14)	<ul style="list-style-type: none"> Inflammation pulpaire Etanchéité bactérienne Formation du pont dentinaire 	<ul style="list-style-type: none"> Pas de différence significative entre les deux groupes sauf pour la réponse cellulaire à l'inflammation qui est meilleure avec le MTA 	1% d'échec avec MTA 3% d'échec avec CaOH2 dans la formation du pont dentinaire
Hilton et al (82) USA	376 dents	2 ans	NP	MTA (181) CaOH2 (195)	<ul style="list-style-type: none"> Vitalité pulpaire Evaluation radiographique 	NP	31.5% avec CaOH2 19.7% avec MTA
Nowicka et al (86) Pologne	28 dents	6 semaines	Exposition mécanique	MTA Biodentine®	<ul style="list-style-type: none"> Inflammation pulpaire Présence du pont dentinaire 	<ul style="list-style-type: none"> Absence de différence significative 	NP
Zarrabi et al (98) Iran	32	8 semaines	Exposition mécanique	MTA CEM ciment	<ul style="list-style-type: none"> Inflammation pulpaire Présence du pont dentinaire 	<ul style="list-style-type: none"> Diminuée 100% 	NP
Zarrabi et al (99) Iran	32	8 semaines	Exposition mécanique	MTA CEM ciment	<ul style="list-style-type: none"> Présence du pont dentinaire Etude de la fibronectine et de la tenascine 	<ul style="list-style-type: none"> 100% 100% 	NP

NP : non précisé

3^{ème} partie

La Pulpe nécrosée

Camille Aucler

3^{ème} partie. La pulpe nécrosée

Lorsque la pulpe de la dent immature se trouve lésée, les thérapeutiques dépendent de la vitalité de la dent. Cette troisième partie concerne la pulpe nécrosée qui correspond aux catégories IV et IV^{bis} de Baume.

Le diagnostic de nécrose se base sur :

- L'examen clinique et les signes cliniques : changement de teinte, mobilité dentaire, douleurs spontanées, douleurs à la percussion, fistule gingivale, œdème, inflammation gingivale et/ou douleur à la palpation.
- Examen radiologique : image radio-claire à l'apex, arrêt de développement radiculaire.

Deux thérapeutiques sont alors possibles : l'apexification (exposée dans le chapitre 1) et la revascularisation (exposée dans le chapitre 2). Notre exposé est basé sur une revue systématique de la littérature.

Chapitre 1

L'apexification

I. Méthode de la revue de la littérature

Cette revue systématique de la littérature (RSL) a pour objectif principal d'étudier les thérapeutiques d'apexification sur les dents immatures avec une pulpe nécrosée en utilisant différents matériaux.

1. Stratégie de recherche

Dans un premier temps, une recherche électronique a été réalisée sur PUBMED en utilisant les mots clés suivants : immature teeth, apexification, immature necrotic teeth, MTA, Biodentine[®], calcium hydroxyde paste, dental roots development.

Dans un deuxième temps, une recherche manuelle a été effectuée à partir de la liste des références des articles présélectionnés pour identifier des articles qui auraient échappé à la recherche électronique.

Le logiciel *Reference Manager* version 12 a été utilisé afin de rassembler toutes les références des différentes recherches et d'éliminer celles qui étaient présentes plusieurs fois et de les regrouper en fonction des mots clés qui leur étaient associés.

1.1. Sélection des études

Seules les publications rédigées en anglais ou en français ont été retenues. Les articles identifiés par la recherche électronique étaient inclus s'ils décrivaient :

- Des thérapeutiques d'apexification sur des dents immatures permanentes
- L'utilisation de matériaux adaptés à ces thérapeutiques

Les articles n'étaient pas inclus s'il s'agissait de :

- Thérapeutiques sur dents temporaires
- Thérapeutiques sur des dents présentant une anomalie de structure ou de forme
- Thérapeutiques de revascularisation
- Thérapeutiques pratiquées sur les animaux
- Rapport de cas où un seul cas est traité, ceux présentant plusieurs cas ont été sélectionnés

1.2. Extraction des données

Les articles inclus ont fait l'objet d'une analyse détaillée de la méthodologie utilisée.

Notre objectif est d'étudier et de comparer la technique d'apexification en fonction des matériaux utilisés. Nous avons donc relevé les variables suivantes : la population étudiée, l'échantillon considéré, le temps nécessaire à la fermeture apicale, les critères de succès du traitement, le pourcentage de réussite, les échecs et les complications ont été relevés.

1.3. Résultats

La recherche électronique conduite dans le cadre de RSL ayant pour objectif d'identifier tous les documents décrivant les thérapeutiques d'apexification sur les dents permanentes immatures avec une pulpe, basée sur plusieurs mots clés est décrite dans le tableau XXI.

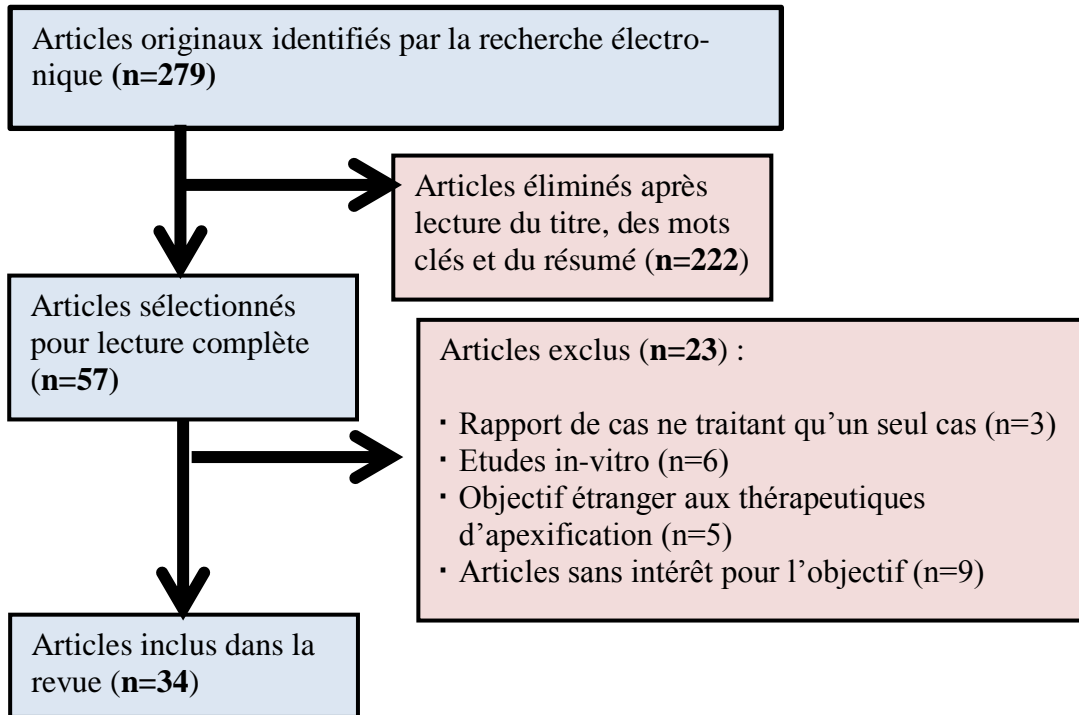
Tableau XXI: Historique de la recherche électronique (apexification)

Numéros de recherche	Mots clés	Nombre d'articles
1	Immature teeth	860
2	apexification	329
3	Immature necrotics teeth	187
4	MTA : mineral trioxyde aggregate	1216
5	Biodentine®	90
6	Dental roots developpement	2086
7	Calcium hydroxyde paste	516
8	Endodontic	9893
9	1 AND 2	159
10	1 AND 4 OR 5 OR 7	2463
11	10 AND 2	221
12	11 AND 6	75
13	11 AND 3	58

Après comparaison des différentes requêtes et élimination des références citées plusieurs fois, nous avons identifié 279 références publiées.

L'organigramme de la RSL ayant pour objectif d'identifier tous les documents décrivant les techniques d'apexification sur des dents permanentes immatures avec une pulpe nécrosée est présenté figure 28.

Figure 28: Organigramme de la revue systématique de la littérature (apexification)



A la suite de la lecture des titres, mots clés et résumés des 279 références identifiées, 222 articles n'ont pas été sélectionnés :

- 6 publications n'ont pas été sélectionnées car elles concernaient des thérapeutiques sur pulpe vivante
- 12 rapportaient des expériences sur les animaux
- 69 étaient des rapports de cas ne portant que sur un seul cas
- 98 ne portaient pas sur le sujet demandé
- 32 ne correspondaient pas aux objectifs fixés précédemment
- 5 étaient des études in vitro

Après lecture complète des 57 articles présélectionnés, 31 ont été exclus :

- 3 étaient des rapports de cas ne portant que sur un seul cas
- 6 étaient des études in vitro
- 5 avaient un objectif étranger aux thérapeutiques d'apexification
- 9 n'avaient pas d'intérêt pour le sujet

Trente quatre références ont été sélectionnées (13-14-15-17-19-22-23-25-28-29-30-40-102-103-104-105-106-107-109-112-116-117-118-119-120-121-122-123-124-126-127-128-130-131)

II. Résultats –discussion

1. Principes de l'apexification

La technique d'apexification a pour but de provoquer une réparation biologique, deux techniques sont possibles (17-13) :

- La fermeture de l'extrémité radiculaire par formation d'un tissu calcifié recouvert d'un dépôt de ciment : c'est la technique omnibus (101)
- La mise en place d'un apex radiculaire anatomique, constitué de dentine recouverte de ciment, due à la reprise de l'activité normale de restes de tissu pulpaire vivant : c'est la technique douce (13)

Trois situations sont habituellement rencontrées :

- Le stade d'évolution de la dent correspond à l'âge du patient
- Le stade d'évolution de la dent ne correspond plus à l'âge du patient, c'est à dire que l'évolution du développement radiculaire est restée figée au stade où la nécrose pulpaire s'est produite (13-102)
- L'infection péri-apicale a provoqué une résorption de l'apex

2. Indications de l'apexification

L'apexification est indiquée dans les cas suivants:

- Les dents immatures nécrosées, avec ou sans lésion péri-apicale
- Le traitement d'une résorption radiculaire interne ou externe
- Une fracture de la racine qui ne communique pas avec la cavité buccale (13-103-104)

3. Protocoles thérapeutiques

Ces protocoles varient en fonction du matériau employé : l'hydroxyde de calcium (figures 29-30), le MTA, et la Biodentine®.

3.1 Mise en œuvre clinique

Quelques soit le matériau utilisé, plusieurs étapes opératoires seront réalisées. Le premier temps opératoire comprend 13 étapes, communes aux trois protocoles d'apexification et seront intitulées : « étapes initiales ».

1^{er} temps opératoire : Etapes initiales

1. Radiographie préopératoire
2. Anesthésie locale, si nécessaire
3. Isolation de la dent à l'aide d'une digue
4. Préparation de la cavité d'accès
5. Evaluation de la longueur de travail *¹
6. Débridement du canal radiculaire avec des limes jusqu'au diamètre 25 *²
7. Irrigation du canal à l'aide d'hypochlorite de sodium à 2,5 %
8. Assèchement du canal radiculaire à l'aide de pointes de papier stériles
9. Obturation du canal avec de la pâte d'hydroxyde de calcium à consistance fluide- molle à l'aide d'une lime diamètre 15 ou d'un lentulo
10. Une condensation du matériau doit être faite avec des pointes de papier stériles ou des machetous
11. Une radiographie rétro alvéolaire est effectuée pour confirmer le placement de la pâte hydroxyde de calcium
12. Pose d'une boulette de coton sur l'hydroxyde de calcium afin de faciliter la ré intervention
13. Obturation de la cavité d'accès à l'aide d'un ciment verre ionomère*³ (15-22-23-25-28-103-104-105-106-107-)

**¹ :L'évaluation de la longueur de travail reste la difficulté pour les dents permanentes immatures et sera déterminée à l'aide de radiographies rétro alvéolaires et de localisateurs d'apex qui permettront plus de précision et moins d'instrumentation (40).*

**² : Il faut toutefois éviter d'amincir les parois en raison de leur fragilité et faible épaisseur pour éviter les fractures.*

**³ : L'étanchéité de l'obturation temporaire est un des paramètres essentiels au succès de cette technique (15-17-108).*

Hydroxyde de calcium : 2^{eme} temps opératoire

14. 1^{er} contrôle à une semaine : les signes cliniques doivent avoir disparu

15. 2^{eme} contrôle à 2 semaines : contrôle radiographique

Si l'exsudat est important, l'hydroxyde de calcium est alors renouvelé : les mêmes étapes que le 1^{er} temps opératoire doivent être répétées . Seule la 5^{eme} étape est légèrement différente. La longueur de travail est inférieure de 1mm à celle établie lors du 1^{er} temps opératoire pour ne pas léser les cellules de la région apicale.

Suivi

Les séances se répèteront à 3, 6, 9 semaines, 3, 6 et 9 mois

- Renouvellement de l'hydroxyde de calcium uniquement si le contrôle radiographique montre son absence dans le canal
- Quand apparition radiographique de la barrière apicale : vider et désinfecter le canal puis obturer définitivement le canal
- Il faut en général 6 à 12 mois, parfois plus, pour obtenir une barrière apicale
- Cependant cette technique peut aboutir à des fractures de racines fragilisées dès que l'on dépasse 2 à 3 mois de traitement par $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (13-14-15-103-109)

Figure 29: Premier cas clinique de traitement d'apexification à l'hydroxyde de calcium. (15)



Radiographie
préopératoire de deux
incisives immatures
nécrosées, lésées
traumatisées chez une
enfant de 12 ans



21/11 après application
d'hydroxyde de calcium.
La patiente est suivie
régulièrement et
l'hydroxyde de calcium
est renouvelé deux fois à
4 et 12 semaines



Contrôle à 26 semaines.
Formation de la barrière
apicale sur 21



Obturation à la gutta
percha de la 21.
Renouvellement de
l'hydroxyde de
calcium sur la 11



Contrôle à 39
semaines. Formation
de la barrière apicale
sur 11. Obturation à la
gutta percha sur 11



Contrôle à 1 an

Source: Dr Judith CHIN

Figure 30: Deuxième cas clinique de traitement d'apexification à l'hydroxyde de calcium.



Radiographie pré opératoire d'une incisive immature nécrosée chez une enfant de 11 ans à la suite d'un traumatisme

La dent est traitée à l'hydroxyde de calcium. La patiente est suivie régulièrement. Renouvellement de l'hydroxyde de calcium à 6 et 12 semaines



Contrôle à 9 mois. Formation de la barrière apicale. Pas de symptomatologie

Source: Dr NAGAVENI (110)

Pour les protocoles avec le MTA (figures 31 et 32) et la Biodentine® (figure 33), un traitement préalable à l'hydroxyde de calcium est recommandé en complément de la séance initiale de nettoyage canalaire, pour parfaire l'antisepsie canalaire, assécher et obturer provisoirement le canal. Le but est de diminuer l'exsudation et d'accélérer la cicatrisation périé apicale, pour limiter les risques ultérieurs d'extrusion du MTA (105-111-112).

MTA : 2^{ème} temps opératoire

14. Anesthésie locale et pose de la digue
15. Eliminer le pansement provisoire
16. Irrigation du canal à l'hypochlorite de sodium à 2,5%
17. Assèchement du canal avec des pointes de papier
18. Choix du fouloir permettant de condenser le MTA. Il est essayé au niveau de l'apex avec un stop placé à la longueur de travail (LT) moins 2 à 4 mm selon la largeur du canal
19. Préparation et mélange du MTA
20. Une carotte de 4 mm de MTA est déposée à l'apex à l'aide d'un pistolet porte-MTA
21. Condenser le matériau à l'aide du fouloir choisi précédemment
22. Une radiographie rétro alvéolaire de contrôle est effectuée afin de vérifier la bonne mise en place du matériau
23. Placer une pointe de papier humide au contact du MTA (la prise du MTA s'effectue en milieu humide)
24. Obturation provisoire de la cavité d'accès avec une boulette de coton humide, afin de favoriser la prise du matériau, et un pansement provisoire comme un cavit (19-22-23-25-28-104-105-106)

Suivi

Le patient est revu une semaine plus tard, lors d'un troisième rendez-vous. L'obturation provisoire et le coton sont déposés afin de vérifier la prise du matériau. Après durcissement complet, le bouchon de MTA forme une barrière solide contre laquelle la gutta-percha peut être condensée. Compte tenu de la largeur du canal, une technique de condensation verticale à chaud est recommandée. La cavité d'accès est obturée avec une résine composite (22-101).

Figure 31: Premier cas clinique d'un traitement d'apexification au MTA.



Fracture coronaire
21 avec necrose
pulpaire chez un
enfant de 11 ans



Radiographie pré-
opératoire de 21



Bouchon de MTA
apres préparation
et désinfection
canalaire



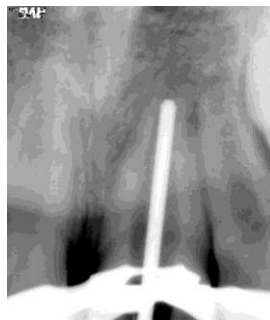
Obturation à la
gutta percha à 1
semaine, apres
durcissement du
MTA

Source : Dr CLAISSE (113)

Figure 32: Deuxième cas clinique d'un traitement d'apexification au MTA.



Radiographie pré-
opératoire d'une
incisive immature
nécrosée



Après 1 séance de
désinfection
canalaire, essaiage
du fouloire pour
condenser le MTA



Mise en place
d'un bouchon de
MTA à l'apex



Obturation à la
gutta percha plus
tard apres
durcissement du
MTA

Source : Dr S. SIMON. (104)

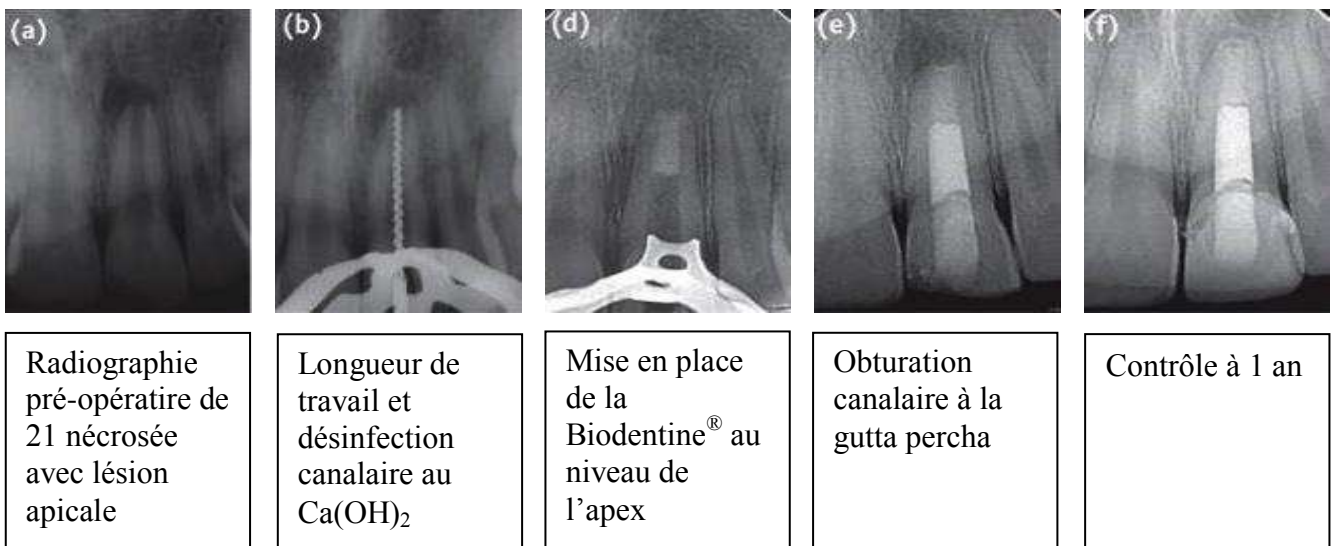
Biodentine® : 2^{ème} temps opératoire

14. Anesthésie et pose de la digue
15. Eliminer le pansement provisoire
16. Irrigation à l'hypochlorite de sodium à 2,5%
17. Assèchement canalaire avec des pointes de papier
18. Choix du fouloir permettant de condenser le Biodentine®. Il est essayé au niveau de l'apex avec un stop placé à la longueur de travail (LT) moins 2 à 4 mm selon la largeur du canal
19. Préparation de la Biodentine® (activation de la capsule Biodentine®)
20. Mettre en place la Biodentine® dans le canal à l'aide d'un porte amalgame ou d'un dispositif de type Root Canal Messing Gun
21. Condenser le matériau à l'aide du fouloir choisi précédemment
22. Une radiographie rétro alvéolaire de contrôle est effectuée afin de vérifier la bonne mise en place du matériau
23. Obturation provisoire de la cavité d'accès avec un pansement provisoire comme un cavit (32-114)

Suivi

Le patient est revu une semaine plus tard lors d'un troisième rendez-vous au cours duquel il faudra vérifier la prise complète du matériau et mise en œuvre du traitement canalaire définitif.

Figure 33: Traitement d'apexification avec de la Biodentine® sur une dent immature nécrosée.



Source : Dr PAWARA (115)

Tableau XXII: Résultats de la RSL sur l'apexification : Traitement à l'hydroxyde de calcium

Caractéristiques étude				Réussite		Echecs / Complications
Références	Pays	Echantillon (nombre)	Temps nécessaire à la fermeture apicale	Critères	Pourcentage	
Kenneth Hargreaves et al. (116)	Bangkok	22 enfants	18 mois	• Taux de survie : aucun signes cliniques ni radiographiques	• 77%	NP
George Eckert et al. (15)	Etats-Unis	21 enfants	12 mois	• Effet de la fréquence du changement de l’HC sur la formation apicale	• 74% en 1 application • 22% en 2 applications • 4% en 3 applications	NP
Al Ansary et al. (117)	Kuwait	41 enfants	12 mois	• Formation de la barrière apicale sans signes cliniques	• 88%	• % non négligeable de fracture de la racine
Andreasen et al. (118)	Etats-Unis	90 dents immatures	24 mois	• Résistance à la fracture de racine avec un traitement à l’HC à long terme	• Diminution de 50% de la résistance à la fracture de la racine	NP
Rosenberg et al. (119)	Allemagne	40 dents immatures	20 mois	• Résistance à la fracture de la racine avec un traitement à l’HC à long terme	• Diminution de 43,9% de la résistance à la fracture de la racine	NP
Dominguez et al. (120)	Espagne	26 dents immatures	36 mois	• Développement de la barrière apicale sans signes cliniques	• 84%	NP
Walia et al. (121)	Espagne	15 enfants	12 à 19 mois	• Développement de la barrière apicale en fonction du nombre de séances à l’HC	• 88%	• 66% des dents immatures ont eu besoin de 3 à 4 séances à l’HC
El meligy and Avery et al. (109)	Etats-Unis	15 dents immatures	12 mois	• Evaluation clinique et radiographique : formation de la barrière apicale	• 87%	NP
Mackie et al. (29)	Etats unis	328 dents immatures	18 mois	• Formation de la barrière apicale	• 90%	NP

NP : Non Précisé

Tableau XXIII: Résultats de la RSL sur l'apexification : Traitement avec le MTA

Références	Caractéristiques étude			Réussite		Nombre de séances pour fermeture apicale
	Pays	Echantillon (âge et nombre)	Suivi (ans/mois)	Critères	Pourcentage de réussite	
Sarris et al. (122)	Etats-Unis	17 dents immatures	12 mois	• Fermeture apicale sans signes cliniques et radiographiques	• 86%	• 3 visites*
Pace et al. (102)	Etats-Unis	11 dents immatures	8 mois	• Fermeture apicale sans signes cliniques et radiographiques	• 80% de réussite • 20% : persistance de la lésion apicale	• 2 visites : - bouchon MTA - obturation
Holden et al. (123)	Etats-Unis	20 dents immatures	12 mois	• Fermeture apicale	• 85%	• 3 visites*
Moore et al. (124)	Etats-Unis	22 dents immatures	20 mois	• Fermeture apicale sans signes cliniques	• 96%	• 3 visites*
Simon et al. (104)	France	43 dents immatures	12 mois	• Fermeture apicale sans signes cliniques	• 81%	• 3 visites*
O'Connell et al. (125)	Irlande	22 dents immatures 10 ans	9 mois	• Fermeture apicale sans signes cliniques et radiographiques	• 95%	• 3 visites*
Simon et al. (104)	France	57 dents immatures	2 ans	• Fermeture apicale sans signes cliniques	• 81%	• 3 visites*
Hargreaves et al. (116)	Bangkok	19 enfants	18 mois	• Taux de survie : aucun signes cliniques et radiographiques	• 94%	• 3 visites*
Pradhan et al. (126)	Etats-Unis	10 dents immatures	12 mois	• Fermeture apicale	• 100%	• 3 visites*
Witherspoon et al. (127)	Etats Unis	116 dents immatures	18 mois	• Fermeture apicale sans signes cliniques et radiographiques	• 92%	• 3 visites*

3 visites : 1 : désinfection à HC, 2 : bouchon MTA, 3 : obturation canalaire définitive

III. Choix des matériaux, résultats de la RSL

Les 9 études sélectionnées par notre RSL, concernant la procédure d'apexification avec l'hydroxyde de calcium (15-29-109-116-117-118-119-120-121) sont présentées dans le tableau XXI.

Les 9 études sélectionnées par notre RSL, concernant la procédure d'apexification avec le MTA (102-104-112-116-122-123-124-126-127) sont répertoriées dans le tableau XXII.

La discussion porte sur l'ensemble de ces résultats.

L'hydroxyde de calcium (figure 34) est le matériau de référence dans la technique d'apexification et le plus utilisé par les praticiens pour le traitement des dents permanentes immatures nécrotiques.

Il est facilement disponible, simple à manipuler et peu coûteux (15).

Figure 34: Hydroxyde de calcium utilisé pour un traitement d'apexification



Les études montrent un taux de réussite important ($> 75\%$) dans l'édification de la barrière apicale (15-29-117-120-121). Grâce à ses propriétés antiseptiques, il permet également la résorption des lésions apicales (116-120-121). Cette technique nécessite l'application répétée d'hydroxyde de calcium dans le canal jusqu'à la fermeture apicale qui s'effectue en moyenne entre 8 et 24 mois (107-109-128).

Cependant cette technique est associée à un certain nombre d'inconvénients. Elle nécessite un nombre important de rendez-vous et rend le suivi des patients aléatoire par manque d'assiduité (15-128). Le traitement canalaire et la restauration définitive étant réalisés plusieurs mois après le début de la prise en charge, augmentent le risque de réinfection canalaire liée à la perte de l'obturation provisoire.

Un autre inconvénient majeur de l'utilisation de l'hydroxyde de calcium est son effet à long terme sur l'intégrité structurelle de la dentine. Plusieurs études (18-119) ont montré qu'il diminue de 40 à 50% sa capacité de résistance à la fracture radiculaire (figure 35) et qu'il provoque par ailleurs un

assèchement de la dentine pouvant être à l'origine de fracture coronaire (117, 129).

Figure 35: Fracture radiculaire d'une dent permanente immature après un traitement d'apexification à l'hydroxyde de calcium.



Une nécrose pulpaire avec lésion apicale est diagnostiquée sur la 22. La patiente a 13 ans. Une radiographie pré opératoire est réalisée



Un nettoyage canalaire est pratiqué et de l'hydroxyde de calcium est mis en place pour obtenir une apexification



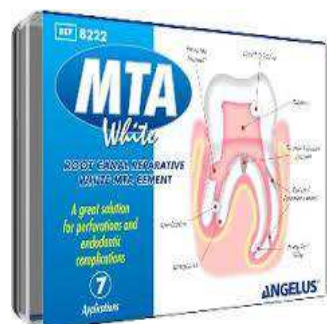
Après 2 ans de traitement et 5 renouvellements d'hydroxyde de calcium, la patiente revient pour une douleur sur la 22 survenue en mangeant. La radiographie révèle une fracture radiculaire horizontale juxta-crestale

Source : C. Naulin-Ifi (129)

Le MTA (figure 36) quant à lui, pallie à certains de ces inconvénients et risques.

En effet ce matériau permet d'obtenir immédiatement un scellement apical étanche permettant de réaliser sans attendre l'obturation canalaire à la gutta percha et la reconstitution coronaire définitive. Les études montrent un taux de réussite de fermeture apicale excellent, supérieur à 80% (104-116-122-123-124-126-127), en un nombre réduit de séances par rapport à l'hydroxyde de calcium (109-128-130), ce qui ne pose pas le problème de la régularité du suivi.

Figure 36: MTA utilisé pour le traitement d'apexification

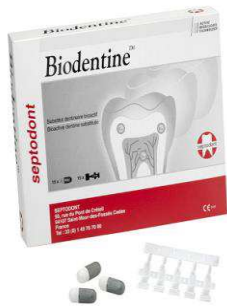


Un grand nombre de ces études comprend un protocole d'apexification en trois étapes ; la première étant la désinfection à l'hydroxyde de calcium. Pace et al. (102) ont montré que cette étape est fondamentale pour le succès de cette technique car la non-utilisation d'hydroxyde de calcium entraîne la persistance de la lésion apicale. Andreasen et al. (18) montrent que l'apexification au TA avec ou sans phase préalable à l'hydroxyde de calcium n'entraîne aucune diminution de résistance à la fracture.

En termes de dentisterie fondée sur la preuve et de recul clinique, il est à ce jour impossible de définir que le MTA doive désormais remplacer systématiquement l'hydroxyde de calcium dans les cas d'apexification (131).

La Biodentine® (figure 37) possède d'excellentes propriétés, ressemblant au matériau idéal en mettant l'accent sur sa biocompatibilité, son étanchéité marginale et sa résistance mécanique. Cependant il y a encore peu de recul clinique ou de preuves suffisantes pour son utilisation dans ce cadre. De plus, les doses sont souvent trop volumineuses pour un acte dentaire ce qui entraîne une perte importante à chaque utilisation et son coût est également très élevé.

Figure 37 : Biodentine® utilisé pour le traitement d'apexification



De façon générale, les résultats des études sur le succès clinique de l'apexification avec l'hydroxyde de calcium et le MTA sont statistiquement similaires (119). Mais ce dernier semble plus intéressant du fait de la rapidité du traitement qui permet également de réduire les effets secondaires.

Reste le point faible de la technique elle-même : seul l'apex est formé, il n'y a pas de développement radiculaire ou d'épaississement des parois radiculaires. Aussi les études actuelles cherchent à identifier des procédures et des matériaux qui permettraient de provoquer un processus physiologique afin d'obtenir une édification radiculaire proche de la normale; la revascularisation pulpaire.

Chapitre 2

La revascularisation

Il s'agit d'une nouvelle technique de « régénération » qui vise à relancer le développement radiculaire « physiologique » sur des dents permanentes immatures nécrosées.

I. Méthode de la revue de la littérature

Cette revue systématique de la littérature (RSL) avait pour objectif principal d'étudier les thérapeutiques de revascularisation sur les dents permanentes immatures avec une pulpe nécrosée.

1. Stratégie de recherche

Dans un premier temps, une recherche électronique a été réalisée sur PUBMED en utilisant les mots clés suivants : *immature teeth, dental pulp regeneration, dental revascularisation, dental tri antibiotic, pulp dental stem*.

Dans un deuxième temps, une recherche manuelle a été effectuée à partir de la liste des références des articles présélectionnés pour identifier des articles qui auraient échappé à la recherche électronique.

Le logiciel *Reference Manager* version 12 a été utilisé afin de rassembler toutes les références des différentes recherches et d'éliminer celles qui étaient présentes plusieurs fois et de les regrouper en fonction des mots clés qui leur étaient associés.

1.1. Sélection des études

Seules les publications rédigées en anglais ou en français ont été retenues. Les articles identifiés par la recherche électronique étaient inclus s'ils décrivaient :

- Des thérapeutiques de revascularisation sur des dents permanentes immatures avec une pulpe nécrosées
- L'utilisation de matériaux adaptés à ces thérapeutiques

Les articles n'étaient pas inclus s'il s'agissait de :

- Thérapeutiques sur des dents temporaires ou permanentes matures
- Thérapeutiques sur des dents présentant une anomalie de structure ou de forme
- Thérapeutiques d'apexification

- Thérapeutiques sur les animaux
- Rapports de cas où un seul cas est traité

1.2. Extraction des données

Les articles inclus font l'objet d'une analyse détaillée de la méthodologie utilisée.

Notre premier objectif est de connaître le tissu formé, nous avons donc relevé les variables suivantes : la population étudiée, l'échantillon considéré, la nature de l'infection, le matériau de désinfection utilisé, le tissu retrouvé dans le canal et les conséquences sur la racine.

Notre deuxième objectif est d'étudier et comparer les deux techniques exposées dans la littérature ; aussi la population étudiée, l'échantillon considéré, le suivi, les critères de succès du traitement, le pourcentage de réussite, les échecs et les complications ont été relevés.

1.3. Résultats

La recherche électronique basée sur plusieurs mots clés et conduite dans le cadre de la revue systématique de la littérature ayant pour objectif d'identifier tous les documents décrivant les thérapeutiques de revascularisation sur les dents permanentes immatures avec une pulpe nécrosée est décrite dans le tableau XXIV

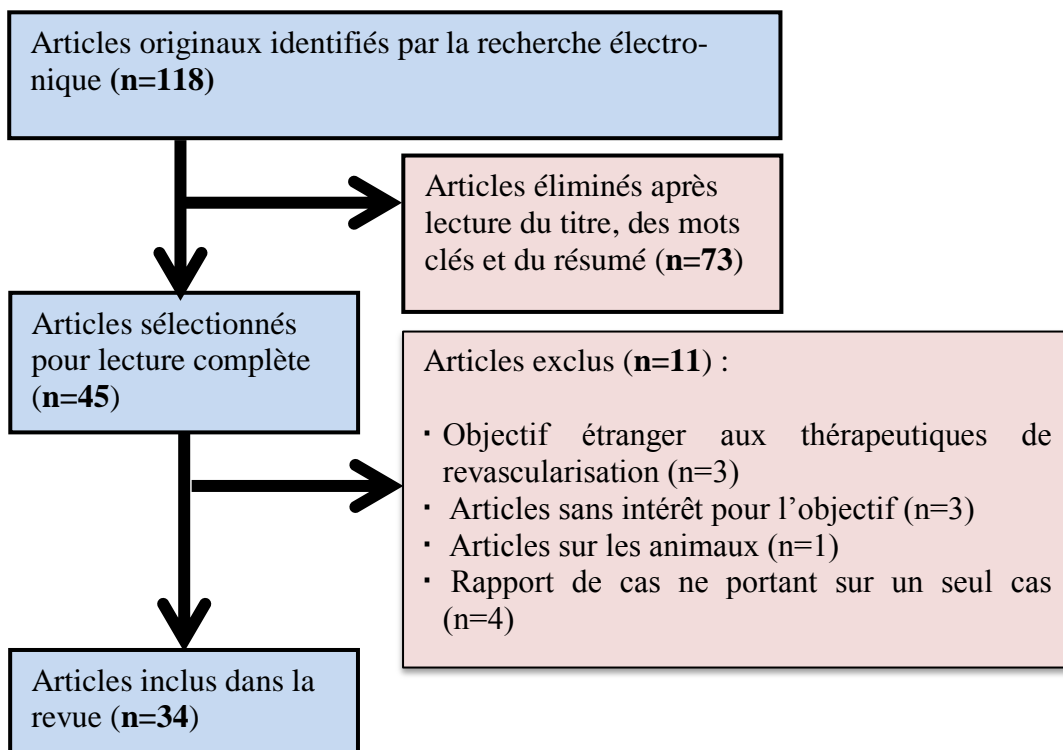
Tableau XXIV: Historique de la recherche électronique RSI revascularisation

Numéros de recherche	Mots clés	Nombre d'articles
1	Immature teeth	860
2	Dental pulp regeneration	1357
3	Dental revascularisation	170
4	Dental tri antibiotic	10
5	Pulp dental stem cell	764
6	2 OR 3	1475
7	1 AND 2	91
8	1 AND 3	57
9	2 OR 3 AND 1	118

Après comparaison des différentes requêtes et élimination des références citées plusieurs fois, nous avons identifié 118 références.

L'organigramme de la RSL ayant pour objectif d'identifier tous les documents décrivant les thérapeutiques de revascularisation sur des dents permanentes immatures avec une pulpe nécrosée est présenté figure 38.

Figure 38 : Organigramme de la revue systématique de littérature (revascularisation)



A la suite de la lecture des titres, mots clés et résumés des 118 références identifiées, 73 articles n'ont pas été sélectionnés :

- 27 publications ne portaient pas sur le sujet demandé
- 8 étaient des rapports de cas ne portant que sur un seul cas
- 20 rapportaient des expériences sur des animaux
- 16 ne correspondaient pas aux objectifs fixés précédemment
- 2 étaient des études in vitro

Après lecture complète des 45 articles présélectionnés, 11 ont été exclus :

- 4 étaient des rapports de cas ne concernant qu'un seul cas
- 1 concernait des expériences sur les animaux

- 3 étaient hors sujet
- 3 ne correspondaient pas aux objectifs

Trente quatre références ont donc été incluses (108-114-119-132-134-135-136-138-139-140-141-145-146-147-148-149-151-152-153-154-155-156-157-158-160-162-163-164-165-166-167-171-175-183)

II. Résultats –discussion

1. Définition et indications de la revascularisation

1.1. Définition de la revascularisation

Cette thérapeutique est une technique relativement nouvelle pour le traitement des dents permanentes avec un apex très immature et une pulpe infectée dont le développement radiculaire est interrompu. La revascularisation vise à régénérer le complexe pulpo-dentinaire des dents immatures nécrosées en restaurant les propriétés fonctionnelles, afin de permettre la fin de l'édification radiculaire en prévenant ou guérissant la parodontite apicale associée (132). Cette procédure est encore expérimentale et les parents du jeune patient devront être informés et un consentement éclairé devra être obtenu (133).

1.2. Indications de la revascularisation

Afin d'optimiser une revascularisation, certaines conditions sont nécessaires :

- Les apex doivent être ouverts : Cvek (134) a démontré par des études expérimentales et rétrospectives, que la revascularisation est maximale si le diamètre du foramen apical est supérieur à 1,1 mm chez l'humain (figures 39 et 40) ce qui correspond à un diamètre de lime 110. D'autres parlent d'un diamètre supérieur à 0,70 mm, c'est à dire un diamètre de lime 70 (135)
- Les parois radiculaires doivent être très fines
- Le sujet doit donc être jeune (entre 8 et 13 ans). Plusieurs études suggèrent que plus l'individu est jeune, plus le potentiel de régénération des cellules souches et la capacité de cicatrisation sont meilleurs (136)

Figure 39: Apex ouvert ($>$ à 1mm) (137)



La revascularisation de l'espace pulpaire est possible

Figure 40: Apex fermé ($<$ à 1mm) (137)



La revascularisation de l'espace pulpaire n'a pratiquement aucune chance de se faire

2. Principe et mécanismes de la revascularisation

2.1. Principe

Le principe de cette technique est d'induire la formation d'un caillot sanguin au sein du canal préalablement vidé de son contenu et désinfecté (138). Ce caillot sera colonisé par des cellules souches qui participeront à la formation d'un nouveau tissu. L'objectif final est de créer un tissu capable de réamorcer le processus d'édification radiculaire, l'épaississement des parois radiculaires et la fermeture de l'apex.

Cette technique est donc basée sur deux temps :

- La désinfection du canal
- L'induction d'un saignement apical suffisant pour remplir le canal le plus possible et créer le caillot qui occupera tout le canal, celui-ci étant protégé par la mise en place d'une restauration étanche (139)

2.2. Les mécanismes de la revascularisation

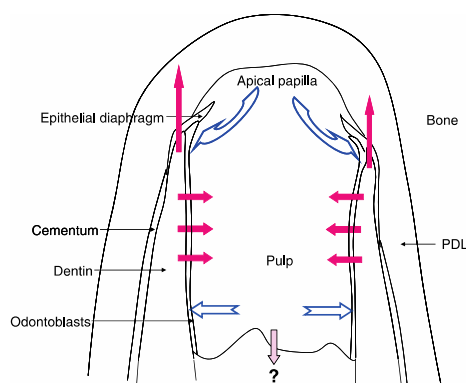
Le processus de revascularisation repose sur les cellules souches présentes dans le péri apex ou dans la racine. Ces cellules sont immatures et définies principalement par deux caractéristiques :

- Leur capacité à se diviser à l'identique pendant de nombreuses années
- Leur capacité à se différencier en un grand nombre de cellules ce qui permet d'envisager la réparation de nombreux tissus comme la pulpe, la dentine, le cément et autres tissus parodontaux
-

Plusieurs hypothèses sur les mécanismes de la revascularisation existent mais nous ne développerons que les quatre hypothèses principales (134) :

1. Les **cellules souches du ligament parodontal** proliféreraient à l'extrémité apicale et à l'intérieur du canal radiculaire puis laisseraient un dépôt de tissu dur sur les parois et au niveau de l'apex (134-140-141).
2. Les **cellules souches situées dans la papille apicale** pourraient survivre à la nécrose pulpaire même en présence d'infection péri-apicale (Huang et al. en 2008). La survie de ces cellules souches serait facilitée par un apport sanguin au niveau de la papille apicale. Elles pourraient proliférer dans la matrice nouvellement formée et se différencier en odontoblastes qui joueraient un rôle dans l'organisation des cellules de la gaine épithéliale d'Hertwig. Par ailleurs, ils se fixeraient d'une part sur la dentine atubulaire de l'apex, provoquant l'allongement des racines et d'autre part sur les parois latérales du canal radiculaire, pour renforcer et consolider la racine (134-140-142).
3. Des **cellules souches de la pulpe dentaire** présentes dans le canal auraient survécu à la nécrose pulpaire (figure 41) même dans les cas de pathologie apicale (Linnet, en 1984 ; Iwaya et al. en 2001, Huang et al. en 2008). Ces cellules souches pourraient avoir la capacité de se différencier en odontoblastes contribuant à la maturation de la racine (Youssef en 1988, Shahet en 2008) (134-140).

Figure 41 : Régénération hypothétique du tissu pulpaire à partir de la pulpe résiduelle (143)



Le point d'interrogation indique l'incertitude de la régénération de la pulpe dans l'espace canalaire

4. **le caillot de sang** lui-même pourrait être une source de facteurs de croissance et de cellules souches (Lovelace et al. en 2011). Il s'agirait de facteurs de croissance dérivés des plaquettes (134-140-144). Ils pourraient stimuler la différenciation, la croissance et la maturation des fibroblastes, des odontoblastes et des cémentoblastes et ainsi jouer un rôle important dans la « régénération » tissulaire (144-145).

3. Nature du tissu formé

Les études sélectionnées dans notre RSL concernant la nature du tissu (135-141-146-147-148--149) sont présentées dans le tableau XXV.

La nature du tissu formé dans le canal après revascularisation n'est pas bien définie (tableau XIII). Différents tissus ont été identifiés.

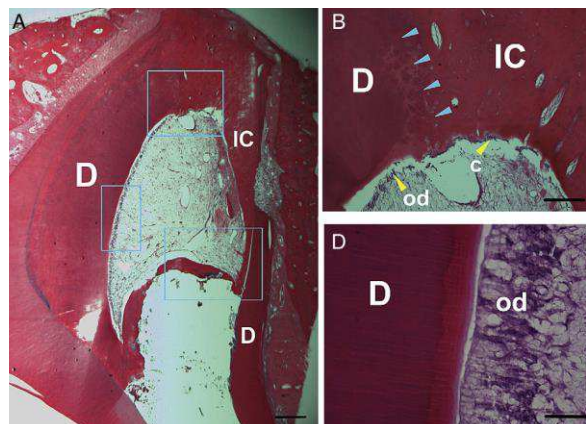
Les premières tentatives de revascularisation sont anciennes Skoglund et al. en 1978 (135-147-148). Ces expérimentations sont pratiquées sur 30 chiens. Les analyses histologiques ont montré que 5 semaines après une procédure de revascularisation, le canal contenait un tissu très vascularisé, tissu similaire à celui présent dans la papille apicale décrit par Sonoyama (134).

D'autres études sur des chiens décrites par Wang et Thibodeau (135-150) montrent un résultat tout à fait différent. L'expérimentation se fait sur des dents préalablement infectées. Une fois l'infection apicale démontrée, la procédure de revascularisation est alors mise en place.

- Sur les 60 dents, un seul cas montre une persistance de cellules pulpaires (figure 42).

Histologiquement, on observe d'un côté du mur dentinaire l'apposition d'odontoblastes. Mais de l'autre côté de l'espace canalaire, aucune cellule odontoblastique n'est présente. En effet, on observe l'apposition de ciment que l'on appelle ciment intra canalaire par opposition au ciment extra canalaire qui est le dépôt de ciment normal à la surface radiculaire (150).

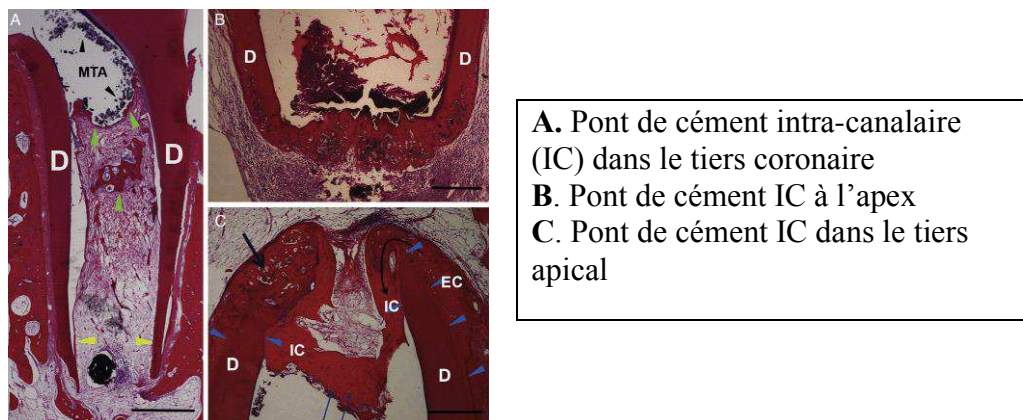
Figure 42: Survie pulpaire partielle (150)



- | |
|---|
| <p>A. Apposition de dentine d'un coté des murs canaux et apposition de ciment intra canalaire de l'autre coté</p> <p>B. Démarcation dentine/ ciment intra canalaire</p> <p>D. Couche d'odontoblastes</p> |
|---|

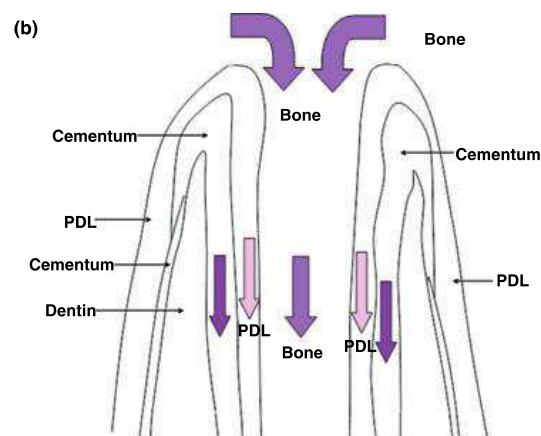
- Dans les autres cas, on retrouve du ciment sur l'ensemble des parois canaux (figure 43). La production de dentine est alors interrompue (150).

Figure 43: Formation de ponts de ciment-intra canalaire (150)



- L'allongement de la racine et l'épaississement des parois sont donc principalement dus à l'apposition de ciment intra canalaire. Des projections de ciment ont également pu être retrouvées dans l'espace canalaire.
- Des cellules inflammatoires sont présentes au niveau de la partie apicale ainsi que dans l'espace canalaire mais n'interfèrent pas dans la production de ciment.
- On retrouve dans la majorité des cas, la formation d'un tissu s'apparentant au ligament parodontal ainsi qu'un tissu similaire ayant de l'os que l'on retrouve dans le canal radiculaire.
- Dans cette étude, trois tissus sont principalement formés (figure 44) : un tissu cémentoïde, un tissu ressemblant au tissu osseux et un au ligament parodontal (135-150). Ces observations ont également été approuvées par Bezerra en 2010, Silva en 2010 et Yamauchi en 2011 (148).

Figure 44: Invagination du tissu osseux, cémentoïde et de ligament parodontal lors d'une procédure de revascularisation (143)



Des études sur des humains ont aussi été pratiquées par Jong et al. (147). On observe des résultats tout à fait différents. En effet, dans cette étude aucun tissu dur n'a été retrouvé dans le canal. Trois semaines et demi après la procédure de revascularisation, on observe un tissu conjonctif lâche avec peu de fibre de collagènes. On ne retrouve aucune cellule inflammatoire ou fibre nerveuse. Des vaisseaux sanguins sont présents en plus grande quantité dans l'espace canalaire qu'au niveau apical. Des cellules épithéliales semblables à celle de la gaine de Hertwig sont présentes au niveau de l'apex. Cependant cette étude a été menée sur des dents en pulpite irréversible. Il est donc fort probable que la persistance du tissu vivant au sein du canal avant la procédure ait pu participer à la régénération du tissu observé (140-147).

L'ensemble de ces études ne montrent que quelques résultats où les tests de vitalité sur les dents, ayant reçu une procédure de revascularisation, sont positifs (151). Au vu des données histologiques chez les humains, les réponses positives ou négatives obtenues aux tests de vitalité doivent être interprétées avec prudence. L'absence de réponse pourrait être due à l'absence de fibres nerveuses dans l'espace canalaire mais aussi à l'épaisseur du MTA et des matériaux de restauration empêchant la stimulation des tissus vivants à l'intérieur du canal.

La prévisibilité de cette procédure ainsi que la nature des tissus formés doivent encore être étudiée. Ces différentes études indiquent des résultats différents et sont difficiles à mettre en œuvre. En effet, on ne peut éthiquement pas utiliser le procédé de revascularisation sur une dent afin de la sauver pour ensuite l'extraire afin d'étudier son contenu histologique. Jusqu'à ce qu'il y ait des données histologiques suffisantes sur les dents humaines après une procédure de revascularisation, le manque de clarté et de certitude concernant les résultats continuera (135-140). Cela pose aussi un problème de sémantique. En effet, certains parlent de revascularisation, d'autres de régénération (152). Cette dernière fait appel à un concept de retour à la situation initiale or il est impossible d'affirmer aujourd'hui que le tissu formé dans l'espace canalaire soit de la pulpe dentaire, capable d'entraîner une activité de dentinogénèse. On ne peut donc pas parler de régénération (135-147-148-153). Le terme de revascularisation semble plus indiqué, puisqu'il rappelle un concept de réparation.

Cependant, si l'objectif du traitement est de favoriser le développement de la racine, permettre l'épaississement des parois et la fermeture de l'apex, la technique de revascularisation remplit largement sa mission. A ce stade des investigations des traitements de la dent immature (140) seule reste posée l'évolution à long terme de ces dents .

Tableau XXV: Revascularisation: Nature du tissu formé

Caractéristiques étude						
Références	Pays	Echantillon (âge et nombre)	Nature de l'infection	Matériau de désinfection	Tissu retrouvé dans le canal	Conséquences sur la racine
Chueh et Huang (141)	Taiwan	4 dents immatures	Lésion apicale	▪ Application d'hydroxyde de calcium	▪ Formation d'un tissu dur : cément, dentine, os	▪ Allongement de la racine ▪ Epaississement des parois ▪ Fermeture de l'apex
Petrino et al (146)	Etats Unis	1 dent immature	Lésion apicale	▪ Application d'un tri antibiotique	▪ Formation d'un tissu vivant ▪	NP
Chen, Tayebaty, Rosenberg (148)	Etats unis	20 dents immatures	Lésion apicale	▪ Application d'hydroxyde de calcium	▪ Formation d'un tissu dur	5 types de réponses : ▪ 20 dents présentent un épaississement des parois ▪ 15 dents montrent un développement de la racine ▪ 5 dents ne montrent pas de développement significatif de la racine ▪ 4 dents présentent une calcification sévère ▪ 2 dents présentent la formation d'un tissu dur entre le bouchon de MTA et la partie apicale de la racine
Jong et al (147)	Corée	2 dents immatures	Pulpite irréversible sans lésion apicale	▪ Application d'hydroxyde de calcium	▪ Formation d'un tissu vivant	▪ Allongement de la racine ▪ Epaississement des parois ▪ Fermeture apicale
Chueh et al (135)	Taiwan	23 dents immatures	Lésion apicale	Application d'hydroxyde de calcium	▪ Formation d'un tissu dur	▪ Développement de la racine
Hargreaves, Geisler, Henry, Wang (149)	Etats unis	8 dents immatures	Lésion apicale	▪ Application d'un tri antibiotique sur 4 dents ▪ Application d'hydroxyde de calcium sur 4 dents	▪ Formation d'un tissu vivant sur 2 dents ▪ Formation d'un tissu dur sur 6 dents	NP

4. Mise en œuvre clinique et protocoles :

Deux protocoles peuvent être mis en œuvre. Le principe est identique seul le premier temps opératoire diffère. En effet, la première étape de cette procédure est la désinfection du canal qui est obtenue en fonction des auteurs de deux manières.

- Les uns utilisent l'hypochlorite de sodium et une pâte tri-antibiotique (figure 47)
- Les autres utilisent l'hypochlorite de sodium et de l'hydroxyde de calcium (figure 48-49)

Même si la première étape est différente par l'utilisation de deux produits de désinfection, la suite du protocole, le principe et le but de la procédure restent les mêmes. Il ne s'agit que de divergences de certains auteurs sur l'hydroxyde de calcium ou le tri antibiotique.

Les études sélectionnées dans notre RSL concernant le protocole utilisant l'hydroxyde de calcium (133-145-148-151-154-171) sont présentées dans le tableau XXVI.

Les études sélectionnées dans notre RSL concernant le protocole utilisant la pâte tri-antibiotique (134-138-153-155-156-157) sont présentées dans le tableau XXVII.

Bien que le premier temps opératoire des deux protocoles soit différent, ils ont en commun deux points importants.

D'une part, l'utilisation de l'hypochlorite de sodium. Son utilisation doit être prudente et doit respecter une concentration spécifique. En effet, l'hypochlorite de sodium est actuellement reconnu comme étant la solution de choix pour désinfecter un canal, grâce à ses propriétés solvantes et désinfectantes (135-151-158). Cependant il présente un inconvénient majeur pour les procédures de revascularisation : la présence de chlore rend cette solution toxique pour les cellules impliquées dans ce processus (159) et sur la dentine (160). Toutefois, si sa toxicité est avérée, il semble néanmoins que son utilisation à faible concentration (1,5 % à 2,5%) permette de limiter la contamination de surface du tissu dentinaire et donc son relargage de produits cytotoxiques, tout en ne perdant pas ses effets bénéfiques, étant actif à partir d'une concentration de 1% (161).

D'autre part, quelle que soit la technique utilisée dans ce premier temps opératoire, aucune instrumentation mécanique ne devra être mise en œuvre afin de ne pas affaiblir les parois radiculaires (136).

Protocoles de revascularisation avec l'application de l'hydroxyde de calcium et du tri antibiotique

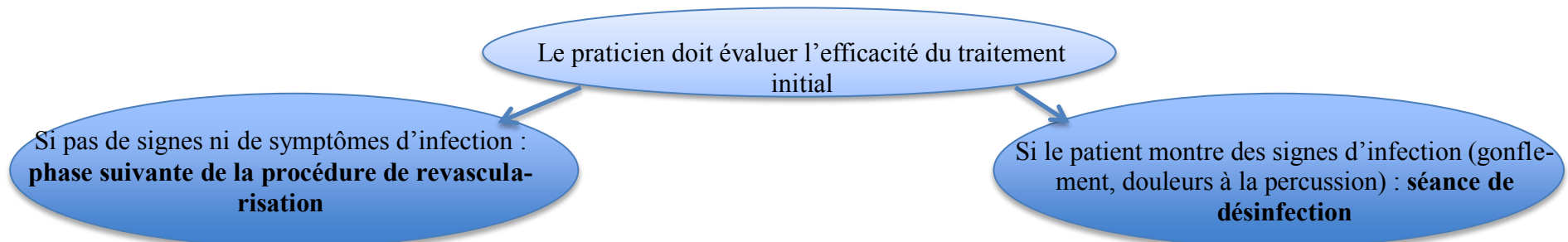
Hydroxyde de calcium: 1^{er} temps opératoire

1. Administration de l'anesthésie locale
2. Isolation de la dent à l'aide d'une digue
3. Irrigation douce avec 20 ml/ canal pendant 5 minutes d'hypochlorite de sodium à 1,5% afin de minimiser la possibilité d'extrusion d'irrigants dans l'espace péri apical.
4. Irrigation avec 20ml/canaux pendant 5 minutes de sérum physiologique (151)
5. Sécher le canal avec des pointes de papier stérile.
6. Mélanger l'hydroxyde de calcium avec de l'eau stérile.
Bose et al ont montré que l'application de l'hydroxyde de calcium dans la moitié coronaire du canal favorise un développement de la racine et l'épaississement des parois. Il est utilisé comme médicament intracanalair afin de terminer l'action désinfectante (160-162)
7. Mise en place d'un coton stérile et d'un matériau temporaire de restauration type cavit/ IRM (134-141-148-149-163-164)

Tri antibiotique: 1^{er} temps opératoire

1. Administration de l'anesthésie locale
2. Isolation de la dent à l'aide d'une digue
3. Irrigation douce avec 20 ml/ canal pendant 5 minutes d'hypochlorite de sodium à 1,5%
4. Irrigation avec 20ml/canaux pendant 5 minutes de sérum physiologique.
5. Sécher le canal avec des pointes de papier stériles.
6. Application d'une couche adhésive sur les parois dentinaires *¹
7. Mise en place du tri antibiotique à base de minocycline, de métronidazole et de ciprofloxacine
8. Mise en place d'un coton stérile et d'un matériau temporaire de restauration type cavit/IRM (133-138-139-153-154-155-156-157-160-165).

La période d'action de l'hydroxyde de calcium et du tri antibiotique en tant que médicaments intracanaux est de 4 semaines après la première visite (Bystrom et al. en 1985 et Sjogren et al. en 1991) (148-155-160).



Hydroxyde de calcium et tri antibiotique

2^{ème} temps opératoire

8. Anesthésie locale **sans** vasoconstricteur (ceux-ci pourraient empêcher la réalisation d'un saignement dans le canal) (135)
9. Isolation de la dent à l'aide d'une digue
10. Retirer le matériau de restauration temporaire en utilisant une irrigation douce avec 20 ml d'EDTA à 17%. L'EDTA possède un pouvoir irriguant et permet d'exposer des facteurs de croissance de la dentine (135-166)*²
11. Sécher le canal avec des pointes de papier stériles
12. Provoquer un saignement à l'aide d'une lime de diamètre 60 en transfixant de 2 mm le foramen apical. Le sang doit remonter dans le canal jusqu'à la jonction amélo-cémanetaire
13. Une fois le caillot sanguin formé, mise en place d'une matrice (collaPlug® ou CollaCote®) de collagène qui participera au processus de cicatrisation et à la stabilisation du caillot sanguin (154-165)
14. Mise en place d'un bouchon de MTA white de 3 à 4 mm au niveau de la jonction amélo-cémentaire *³
15. Mise en place d'un coton stérile et d'une restauration temporaire type ciment verre ionomere (133-134-135-138-139-149-151-153-154-155-156-157-160-165)

3^{ème} temps opératoire : 3 à 4 semaines plus

16. Le coton stérile est enlevé et un matériau de restauration définitive type composite (151) sera mis en place (148)

Suivi

On recherchera :

- A l'examen clinique : une absence de douleurs à la palpation et à la percussion.
- A l'examen radiographique : l'épaississement des parois latérales des racines, l'augmentation de la longueur de la racine et la réduction de la lésion apicale (135-158)
- La première visite de contrôle se fait à un mois post opératoire, puis à 3, 6, 12, 15 et 24 mois si aucun signe clinique n'apparaît (148)
- La réduction de la lésion apicale peut être prévue entre 6 à 12 mois post opératoires
- L'élongation de la racine et l'épaississement des parois latérales de la racine peuvent être prévues 12 à 24 mois post opératoires (133-138-139-155-158-160-161-165)

Par ailleurs, certaines précisions sur les protocoles de revascularisation doivent être détaillées.

- *1. *La pâte tri-antibiotique est à base de minocycline, métronidazole et de ciprofloxacine décrite par d'Hoshino et al. (138-149-153-155-158). Reynolds et al. en 2008 et d'autres auteurs en précisent la composition la plus utilisée, à savoir 250mg de chacun des antibiotiques avec du sérum physiologique (13-158). Mais certains auteurs ont utilisé d'autres dosages. En effet Franklin Garcia-Godoy et Peter Murray en 2011 parlaient d'une pâte contenant 200mg de ciprofloxacine, 500mg de metronidazole et 100 mg de minocycline (133) ; ou Petrino et al. (2010) qui parlait de 100 mg de chacun des antibiotiques (157). La pâte est insérée dans le canal à l'aide d'un lentulo. L'antibiotique peut être placé à 1 ou 2 mm au-delà de l'apex. L'utilisation de cette combinaison d'antibiotique a été soutenue par Banchs et Trope (158). Même des colorations secondaires dues à l'utilisation de la minocycline (famille des tétracyclines) ont été rapportées (figure 45) (136-167). Pour pallier à cette coloration, Banchs et Trope en 2004 ont modifié le protocole actuel en appliquant une couche d'adhésif sur les parois dentinaires coronaires afin de fermer les tubuli avant la mise en place de la pâte antibiotique (138-156).*
- *2. *Le saignement intra-canalair peut être difficile à obtenir (135-160). On peut alors soit plonger la lime dans de l'EDTA ce qui empêchera le sang de coaguler, soit mettre en place une quantité plus importante d'antimicrobien dans le canal pour produire du tissu de granulation supplémentaire (151).*
- *3. *Jusqu'en 2002, seul le MTA gris était disponible sur le marché sous le nom de Pro-Root MTA®. Ce produit entraîne des colorations grises au niveau coronaire (figure 46). Depuis, le MTA blanc est disponible et permet de diminuer ce souci esthétique mais ne l'élimine pas.*

Figure 45: Coloration due à la minocycline (168)



Figure 46: Coloration due au MTA gris (139)

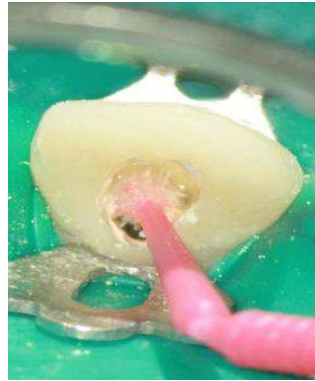


Figure 47: Cas clinique d'un traitement de revascularisation avec la pâte tri-antibiotique

1^{er} temps opératoire :



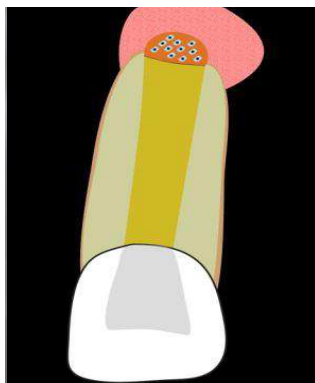
Radiographie pré opératoire de la 11 immature nécrosée présentant une lésion apicale



Application d'un adhésif sur les parois dentinaires coronaires pour éviter les colorations dues à la pâte tri antibiotiques



Mise en place de la pâte tri antibiotique dans le canal



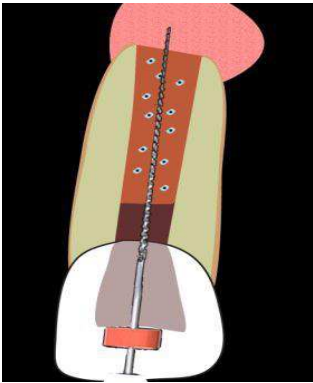
La pâte tri antibiotique (jaune) dans le canal



La pâte tri antibiotique dans la chambre pulpaire

. Source: Dr SIMON Stéphane (169)

2^{ème} temps opératoire : 4 semaines après la première séance



Le foramen apical est transfixé de 2 mm par une lime de diamètre 60



Formation du caillot sanguin



Mise en place d'une matrice de collagène



Mise en place du MTA

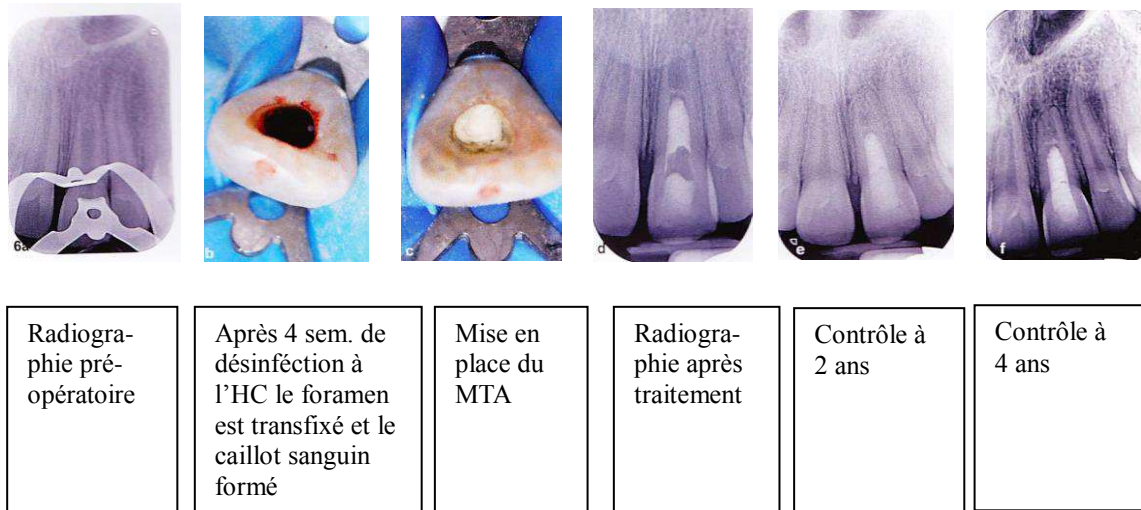


Radiographie de la 11 après traitement



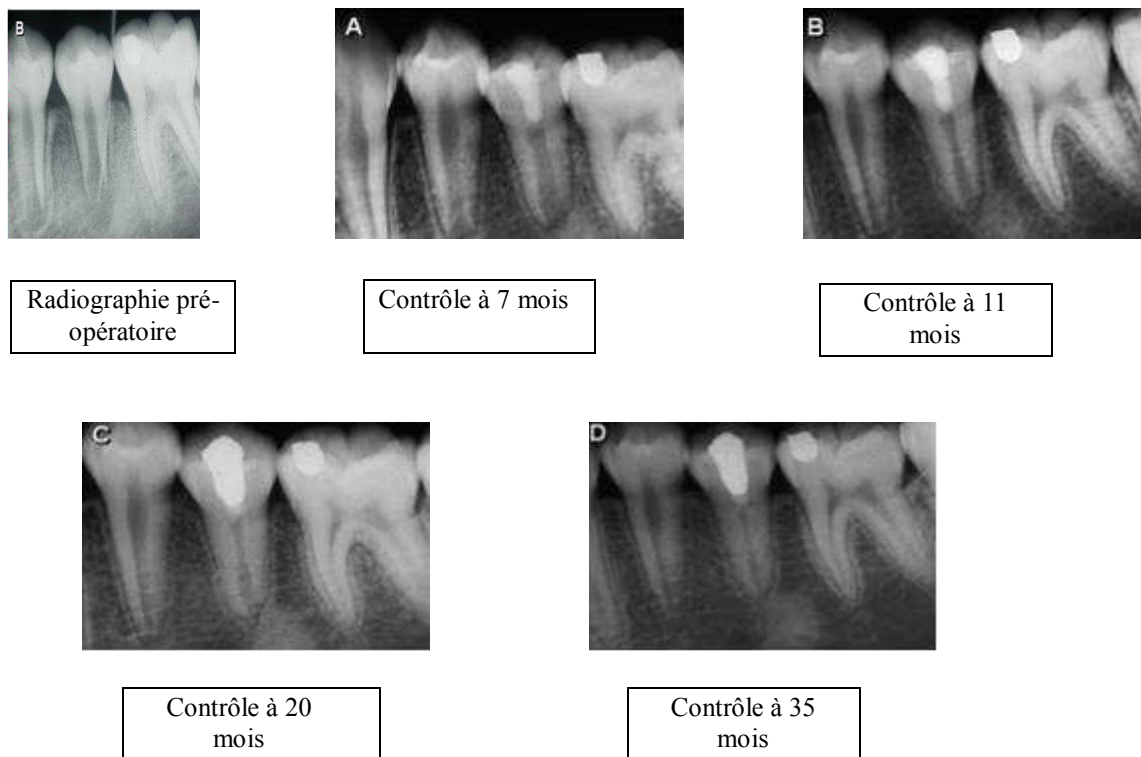
Contrôle à 12 mois avec diminution de la lésion apicale, épaissement des parois et légère augmentation de la longueur radiculaire

Figure 48: Cas clinique d'un traitement de revascularisation avec l'hydroxyde de calcium.



Source : D Perez F (170)

Figure 49: Cas clinique d'un traitement de revascularisation avec l'hydroxyde de calcium



Source: Chueh LH (141)

Tableau XXVI: Revascularisation : traitement avec l'hydroxyde de calcium

Références	Caractéristiques étude			Réussite	Pourcentage de réussite	Echecs et complications
	Pays	Echantillon (âge et nombre)	Suivi (mois)	Critères		
Hargreaves et al. (154)	Etats unis	9 dents immatures	24	<ul style="list-style-type: none"> • diminution de la lésion apicale • épaissement des parois latérales • augmentation de la longueur de la racine 	<ul style="list-style-type: none"> • 80% • 68% • 60% 	<ul style="list-style-type: none"> • L'échec est du à la réalisation d'un caillot insuffisant
Rosenberg et al. (148)	Etats-Unis	20 dents immatures	26	<ul style="list-style-type: none"> • diminution de la lésion apicale • épaissement des parois latérales • augmentation de la longueur de la racine 	<ul style="list-style-type: none"> • 100% : toutes les lésions apicales ont diminué • 81% : les résultats montrent un épaissement moyen de 24% • 75% : les résultats montrent une augmentation moyenne de 8% 	<ul style="list-style-type: none"> • 2 dents présentent une légère coloration coronaire
Cehrali et al. (151)	Turquie	6 dents immatures	26	<ul style="list-style-type: none"> • diminution de la lésion apicale • test de vitalité positif • développement de la racine • épaissement des parois latérales 	<ul style="list-style-type: none"> • 100% • 62% • 100% : les résultats montrent un développement moyen de 10% • 100% : les résultats montrent un épaissement moyen de 27% 	NP

Références	Caractéristiques étude			Réussite		Echecs et complications
	Pays	Echantillon (âge et nombre)	Suivi (mois)	Critères	Pourcentage de réussite	
Ling Huey et al. (171)	Taiwan	23 dents immatures	28	<ul style="list-style-type: none"> • diminution de la lésion apicale • développement de la racine 	<ul style="list-style-type: none"> • Régression complète de la lésion apicale : <ul style="list-style-type: none"> -pour 14 dents : en moyenne : 7 à 10 mois -pour 9 dents : en moyenne : 10 à 21 mois • Développement de la racine <ul style="list-style-type: none"> -pour 13 dents : en moyenne : 10 à 15 mois - pour 8 dents : en moyenne : 17 à 26 mois 	<ul style="list-style-type: none"> • 2 dents : aucun développement : caillot sanguin insuffisant
Murray et Garcia Godoy et al.(133)	Etats unis	30 dents immatures	24	<ul style="list-style-type: none"> • Diminution de la lésion apicale 	91%	<ul style="list-style-type: none"> • 9% d'échec : 2 dents présentent des douleurs à la palpation et à la percussion
Naseem Shah et al. (145)	Inde	14 dents immatures	24	<ul style="list-style-type: none"> • Diminution de la lésion apicale • Epaississement des parois latérales • Développement de la racine 	<ul style="list-style-type: none"> • 93% où la diminution est totale • 57% où l'épaississement est évident • 71% où l'apex est fermé 	<ul style="list-style-type: none"> • 7% où la lésion n'est pas totalement fermée • 43% où l'épaississement est plus faible • 29% dont le développement est en cours de progression

Tableau XXVII: Revascularisation: Traitement avec la pâte tri-antibiotique

Références	Caractéristiques étude			Réussite		Echecs et complications
	Pays	Echantillon (âge et nombre)	Suivi (mois)	Critères	Pourcentage	
Reynolds et al. (138)	Etats unis	5 dents immatures	24	• Coloration coronaire après application du tri ATB*	• 80%	L'étude montre que l'ATB responsable est la minocycline
Rui yu Ding et al. (155)	Chine	12 dents immatures (8 -11 ans)	24	• Diminution de la lésion apicale • Epaissement des parois latérales • Développement de la longueur de la racine	• 96% • 63%	6 dents ont échoué : -saignement insuffisant -douleurs
Shin et al. (134)	Etats-Unis (NP)	3 dents immatures	18	• Diminution de la lésion apicale • Epaissement des parois latérales • Augmentation de la longueur de la racine	• Toutes les dents répondent aux critères	NP
Jong Hyun Kim et al. (156)	Seoul	8 dents	18	• Coloration coronaire après application du tri ATB	• 78% des dents présentent une coloration	L'étude montre que l'ATB responsable est la minocycline
Nosrat et al. (153)	Iran	3 dents immatures (8-10 ans)	20	• Diminution de la lésion apicale • Epaissement des parois latérales • Augmentation de la longueur de la racine	• Toutes les dents répondent aux critères	NP
Petrino et al. (157)	Etats unis	6 dents immatures	24	• Diminution de la lésion apicale • Epaissement des parois latérales • Développement de la racine	• 100% • 33% • 50%	3 dents ont été traitées avec une anesthésie avec vasoconstricteurs ce qui a entraîné un saignement insuffisant.

* ATB = antibiotique

Durant le protocole de revascularisation, il convient de privilégier le traitement le plus conservateur possible des parois radiculaires. Afin d'éliminer le tissu nécrosé, la meilleure option consiste en une irrigation abondante à l'hypochlorite de sodium à 1,5% sans utiliser d'instruments de mise en forme canalaire afin de ne pas affaiblir les parois radiculaires (161).

Les deux protocoles diffèrent sur un point essentiel : la désinfection. En effet, elle est le facteur clé dans les processus de revascularisation (147) car elle permet l'élimination des micro-organismes et des tissus nécrotiques (134). Il faut absolument éviter que le nouveau tissu formé entre en contact avec des bactéries au risque d'arrêter sa progression (135).

Dans le premier temps opératoire, un antiseptique (hydroxyde de calcium ou pâte tri-antibiotique) est appliqué à l'intérieur du canal et laissé en place pendant 3 à 4 semaines (75). Les études montrent que l'hydroxyde de calcium (133-145-148-151-171) et la pâte tri-antibiotique permettent (134-155-157) d'éliminer un taux similaire et important de bactéries (>90%).

Cependant, la pâte tri-antibiotique présente plusieurs inconvénients :

- La coloration induite par la minocycline (138-156) qui peut être atténuée, mais non éliminée, par le scellement préalable de la dentine coronaire par un adhésif
- L'éventuelle induction de résistance bactérienne (d'après Greenstein et Polson en 1998, Eickholz et al. en 2002) ou une réaction allergique à l'un des antibiotiques (Pazet en 1999, Hausermann et al. en 2005, Jappe et al. en 2005 et Isiket et al. en 2007). C'est pourquoi l'utilisation des antibiotiques en application locale n'est pas recommandée par l'AFSSAPS (172).

Les échecs de ces techniques sont essentiellement dus à une induction insuffisante du caillot sanguin qui ne remplit pas assez le canal. Ainsi transfixer au-delà de l'apex dans des canaux mésiaux d'une molaire (153) est plus compliqué que sur des canaux plus larges, de même l'emploi d'anesthésie contenant des vasoconstricteurs peut entraver la formation du saignement (155).

Au vu de notre analyse de la littérature, le recul clinique concernant les procédures de revascularisation est aujourd'hui insuffisant pour déterminer quel protocole est le plus bénéfique. Cependant nous pouvons résumer les éléments essentiels de chacun d'eux dans le tableau XVIII.

Tableau XXVIII: Avantages et inconvénients des procédures de revascularisation suivant l'antiseptique utilisé.

AVANTAGES		INCONVÉNIENTS	
Hydroxyde de calcium	Tri- ATB*	Hydroxyde de calcium	Tri- ATB
<ul style="list-style-type: none"> • Procédure techniquement simple • Majorité des instruments couramment utilisés • Permet de traiter des dents avec une anatomie difficile (153) • Permet développement et renforcement de la racine • Traitement court ; 2 à 3 séances • En cas d'échec : mise en œuvre de la technique d'apexification à l'hydroxyde de calcium ou MTA 		<ul style="list-style-type: none"> • Faible recul clinique • Difficulté à induire un saignement 	
			<ul style="list-style-type: none"> • Coloration due à la minocycline • L'ATB peut entraîner des allergies • L'ATB peut causer des résistances bactériennes (156)

* ATB : antibiotique

5. Nouvelles techniques de revascularisation

La revascularisation décrite précédemment n'est désormais plus le seul moyen pour obtenir le développement radiculaire d'une dent nécrosée. De nouveaux procédés ont « vu le jour ».

5.1. Les concentrés plaquettaires

5.1.1. *Les membranes PRP (Platelet Rich Plasma)*

Jusqu'en 1997, les concentrés plaquettaires appartenait de façon quasi exclusive au domaine de recherche de l'hématologie, afin d'améliorer les transfusions sanguines dans des situations chirurgicales difficiles comme des greffes cardiaques ou des pontages coronariens. En 1997, Withman et coll ont décrit une technique de préparation des concentrés plaquettaires qui pouvait être utilisée en chirurgie buccale et maxillo-faciale : le PRP (Platelet Rich Plasma: plasma sanguin enrichi avec les plaquettes). Plus récemment, un protocole concernant l'utilisation des membranes PRP comme moyen de régénération radiculaire a été proposé. Dans cette procédure, la formation du caillot en transfixant l'apex n'existe pas. En effet la membrane PRP est directement introduite dans le canal après une étape de désinfection. Cette membrane, riche en plaquette, possède des facteurs de croissance intervenant dans le phénomène de revascularisation de la dent immature. Ces effets cicatrisants et régénérateurs sont exposés dans le tableau XXIX.

Tableau XXIX: Effet cicatrisant et régénérateur tissulaire du PRP (173-174-175-176-177)

Facteurs	Fonctions
PDGF-AB : Platelet derived growth factor	Croissance cellulaire, recrutement, différenciation, sécrétion de cytokines.
TGF : Transforming Growth Factor	Synthèse de collagène, régulation, croissance cellulaire et apoptose, différenciation, chimiotactisme.
IGF : Insuline-like Growth Factor	Croissance cellulaire, différenciation, recrutement, synthèse de collagène, migration cellulaire, néoangiogenèse.
FGF : Fibroblastic Growth Factor	Croissance cellulaire
VEGF : Vascular Endothelial growth Factor	Croissance cellulaire, migration, néoangiogénese

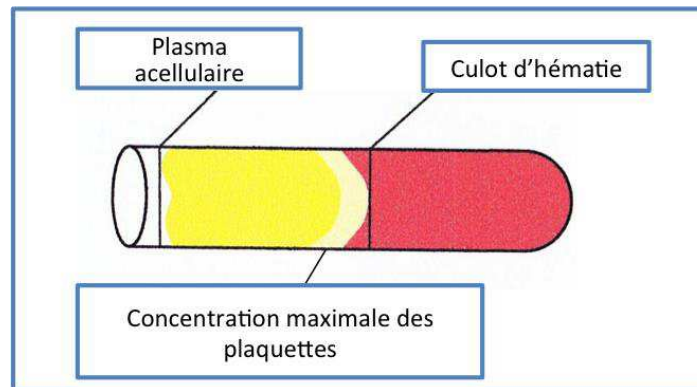
a. Protocole

Il existe de nombreux protocoles différents pour mettre en œuvre le concept de plasma riche en plaquettes. Tous nécessitent une étape de désinfection comme précédemment (avec l'hydroxyde de calcium ou avec les tri-antibiotiques). Nous ne détaillerons que la technique par Curasan et Friadent-Schutze, commercialisée sous forme de kits, utilisant une centrifugation en deux temps afin de récupérer le concentré plaquettaire (174-175-176-177) figure 50.

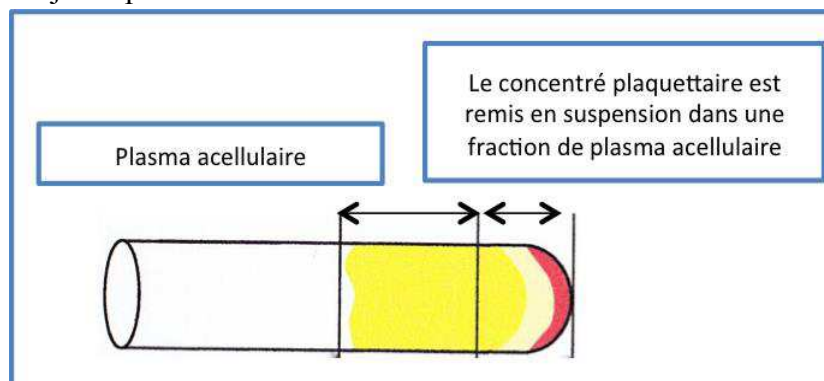
Figure 50 : Technique Curasan et Friadent-Schutze (176-178)

Cette technique consiste à :

1. Prélever une quantité de sang du patient. Il doit être collecté dans un tube contenant un anti coagulant (citrate, phosphate, dextrose) afin d'empêcher l'agrégation plaquettaire et leur activation qui entraîne la libération des facteurs de croissance (178)
2. Une première centrifugation (soft spin) de 10 minutes à 2400 tours/minutes sépare le sang en 3 phases :
 - le culot globulaire contenant les hématies
 - la couche la plus superficielle, le plasma acellulaire c'est à dire le plasma pauvre en plaquettes (PPP)
 - la couche intermédiaire, la plus fine, contenant la zone de concentration maximale des plaquettes.



3. A l'aide d'une seringue stérile, on aspire le PPP, le PRP et un peu d'hématies (inévitables au cours de la manœuvre). L'ensemble est ensuite transféré dans un autre tube stérile mais sans coagulant.
4. Le deuxième tube subit à son tour une centrifugation (hard spin) de 15 min à 3600 tours/ min pour séparer le futur PRP des autres phases, que l'on pourra alors prélever, avec une seringue et éliminer la majeure partie de PPP.



Le concentré plaquettaire est ensuite mélangé avec de la thrombine bovine et du chlorure de calcium ce qui permet la gélification du concentré plaquettaire. La dernière étape pour obtenir la membrane décrite par Sonnleitner (179) consiste à mélanger le concentré plaquettaire au fibrinogène présent dans le kit de la colle biologique Tisseel[®], selon un rapport 1/1. Le concentré plaquettaire peut alors être transformé en membrane bio-résorbable en 5 à 7 minutes. Le canal est ensuite scellé avec un ciment verre ionomère.

b. Etude sur l'emploi des membranes PRP

Une étude, de Ganesh Jadhav et al. , a comparé une procédure de revascularisation traditionnelle avec l'utilisation des membranes PRP (176) sur des dents immatures nécrosées avec une lésion apicale. Deux groupes de dix ont été formés, le groupe 1 bénéficiait du traitement de revascularisation traditionnelle et le groupe 2 celui avec les membranes. A la fin de chacun des traitements, une radiographie de contrôle a été prise. Puis à 6 et 12 mois.

Les observations cliniques et radiographiques ont été faites 1 an après la mise en place du traitement. Cliniquement, toutes les dents sont asymptomatiques, il n'y a pas de douleurs à la percussion et à la palpation. Deux endodontistes n'ayant aucun lien avec cette étude ont observé et analysé les données radiographiques. Le groupe 2 rapporte de meilleurs résultats concernant la diminution de la lésion apicale, la fermeture de l'apex et l'épaississement des murs radiculaires. Cependant concernant l'augmentation de la longueur radiculaire, les résultats paraissent semblables dans les deux groupes.

c. L'utilisation des membranes PRP en France

Bien qu'employée dans d'autres pays, son utilisation est compromise en France. En effet le protocole de fabrication du PRP inclus l'utilisation de la thrombine bovine (afin de permettre l'activation du PRP) or la législation française interdit d'une part les manipulations chimiques du sang en dehors des établissements spécialisés prévus (174-180-181) à cet effet et d'autre part l'utilisation de produits d'origine bovine (182).

5.1.2. Les membranes PRF (*Platelet Rich Fibrin*)

Une seconde génération de concentrés plaquettaires a été mise au point par le Dr Choukroun et al. en 2001: le PRF (174-180-183), qui permet d'utiliser les qualités des plaquettes tout en respectant la législation française. Cette technique ne nécessite ni anticoagulant, ni ajout de thrombine bovine ou d'autres agents gélifiants mais permet le relargage de cytokines contenues dans les plaquettes (TGF,

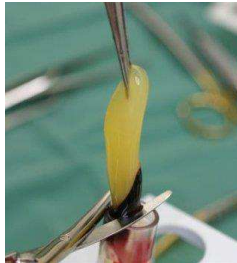
PDGF, IGF, PD-ECGF) (174). Ces membranes sont plus souvent utilisées dans le domaine de l'implantologie et de la parodontie.

a. Protocole

Le protocole (figure 51) nécessite une étape de désinfection comme précédemment (avec l'hydroxyde de calcium ou avec les tri-antibiotiques).

Figure 51: Protocole afin d'obtenir une membrane PRF (174-177-183-184)

1. Prélever une quantité de sang du patient sans anticoagulant.
2. Centrifugation immédiate pendant 10 minutes à 3000 tours/min. On obtient un caillot de fibrine au milieu du plasma acellulaire, avec un maximum de plaquettes prises au sein de la fibrine. La réussite de cette procédure réside dans la rapidité du prélèvement et du transfert à la centrifugeuse car le sang commencera à coaguler dès lors qu'il entrera en contact avec les parois du tube. Si le temps pour mettre en œuvre cette procédure est trop long, la fibrine polymérisera de façon diffuse dans le tube et on obtiendra un amas de sang sans consistance et cela sera un échec.
3. Prélèvement du PRF, il faut le sortir du tube à l'aide d'une pince et le séparer des hématies adhérentes avec des ciseaux.



4. Compression du PRF dans une compresse stérile, afin qu'il devienne une membrane souple et solide prête à l'emploi.



5. Insertion de la membrane dans le canal jusqu'à l'apex.
6. Obturation coronaire au verre ionomère.

b. Etude sur l'utilisation des membranes PRF

Shivashankar, Johns et Kumar (184) ont réalisé une étude sur la revascularisation de dix dents permanentes immatures nécrosées avec une lésion apicale, en utilisant une membrane PRF. Après une première étape de désinfection avec la pâte tri-antibiotique, les patients sont revus 3 semaines plus tard. La technique de fabrication de la membrane PRF est alors mise en œuvre. Celle-ci sera placée dans le canal et un bouchon de MTA est mis en place à la jonction cémento-amélaire. Trois jours plus tard un composite est installé au-dessus du MTA. Un an plus tard, cliniquement les tests à la percussion et à la palpation sont négatifs et les tests de vitalité sont positifs. Radiographiquement, on observe une régression de la lésion apicale, un développement de la racine, un épaississement des parois latérales et la fermeture de l'apex. Ces résultats sont concluants mais d'autres études sur un plus grand nombre de dents sont nécessaires.

c. Son utilisation en France

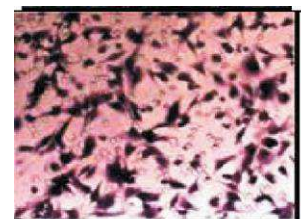
L'utilisation du PRF est autorisée en France, la loi bioéthique du 8 juin 2004 autorise son utilisation en cabinet (180-181-183). Cependant, l'utilisation des membranes PRF en ce qui concerne la revascularisation des dents immatures nécrosées n'a aucun recul clinique. L'absence de publications cliniques et de preuves scientifiques en fait une méthode peu sûre à l'heure actuelle et surtout extrêmement couteuse.

5.2. D'autres techniques d'ingénierie tissulaire en développement (185-186)

5.2.1. Thérapie des cellules souches

Le principe est d'injecter des cellules souches post-natales dans le canal préalablement désinfecté d'une dent permanente immature.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Méthode rapide • Facilement accessible • Peu de douleurs 	<ul style="list-style-type: none"> • Risque de complications • Peu de cellules prélevées survivent après réinjection



5.2.2. Un implant pulpaire

Le principe est de produire du tissu pulpaire à partir de cellules souches mises en culture en laboratoire à l'aide de filtres membranaires bio dégradables. Puis l'ensemble sera implanté dans le réseau canalaire après désinfection complète du canal.

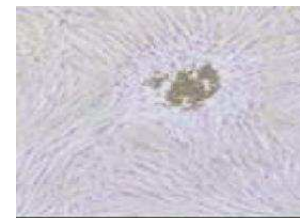
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Les cellules sont faciles à cultiver en laboratoire ▪ L'ensemble obtenu est plus stable dans le canal qu'une injection de cellules sans filtre membranaire 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ La mise en place dans le canal est très difficile car l'ensemble est très fragile ▪ L'implantation doit se faire à proximité des vaisseaux sanguins



5.2.3. L'implantation d'une matrice

Le principe est de produire un tissu pulpaire à partir de cellules souches mise en culture en laboratoire mais à la différence du précédant procédé, la matrice aura une résistance supérieure au support utilisé précédemment et inclura des facteurs de croissance.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Permet une prolifération et une différenciation cellulaire 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Peu de cellules survivent après l'implantation ▪ Difficultés d'insertion



5.2.4. L'impression cellulaire en 3 dimensions

Le principe est de « distribuer » des couches de cellules souches à des endroits spécifiques dans une matrice hydrogel (matrice qui pourrait se rigidifier une fois implantée dans le canal par photopolymérisation).

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ▪ De multiples cellules peuvent être repositionnées avec précision 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Difficultés d'insertion ▪ Aucun essai-étude ne montre que cette procédure fonctionne in-vivo.



5.2.5. Des matrices injectables

Ces matrices possèdent les mêmes caractéristiques que les matrices rigides mais sont injectées dans le canal. Ce procédé utilise des matrices hydrogel photopolymérisables

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> Facilement accessible 	<ul style="list-style-type: none"> Contrôle limité sur la formation du tissu Peu de cellules survivent une fois l'injection faite Aucune étude in vivo



5.2.6. La thérapie génique

Ce procédé consiste en un transfert de gènes dans les cellules des tissus cibles. Les gènes stimuleraient ou introduiraient un processus biologiquement naturel en exprimant des molécules impliquées dans la réponse régénératrice pour le tissu cible.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> Permet d'éviter l'implantation des cellules souches 	<ul style="list-style-type: none"> Procédure difficile à contrôler Risques importants pour la santé



5.2.7. Conclusion

Toutes ces méthodes d'ingénierie tissulaire pourront ouvrir de nouveaux horizons pour la régénération pulpaire ou dans d'autres domaines. Ces techniques cherchent à réparer ou remplacer des tissus ou des organes et sont encore au stade de l'expérimentation ; donc coûteuses et sans recul clinique suffisant pour permettre une utilisation clinique à ce jour (32-600).

Conclusion

Conclusion

Nous venons de présenter toutes les thérapeutiques de prise en charge des traitements pulpaire des DPI qu'elles soient vitales ou nécrosées, cariées ou traumatisées, qui sont résumées dans le schéma récapitulatif ci-dessous (figure 52), les fiches cliniques correspondant à chacun des protocoles présentés sont également proposées ci-après.

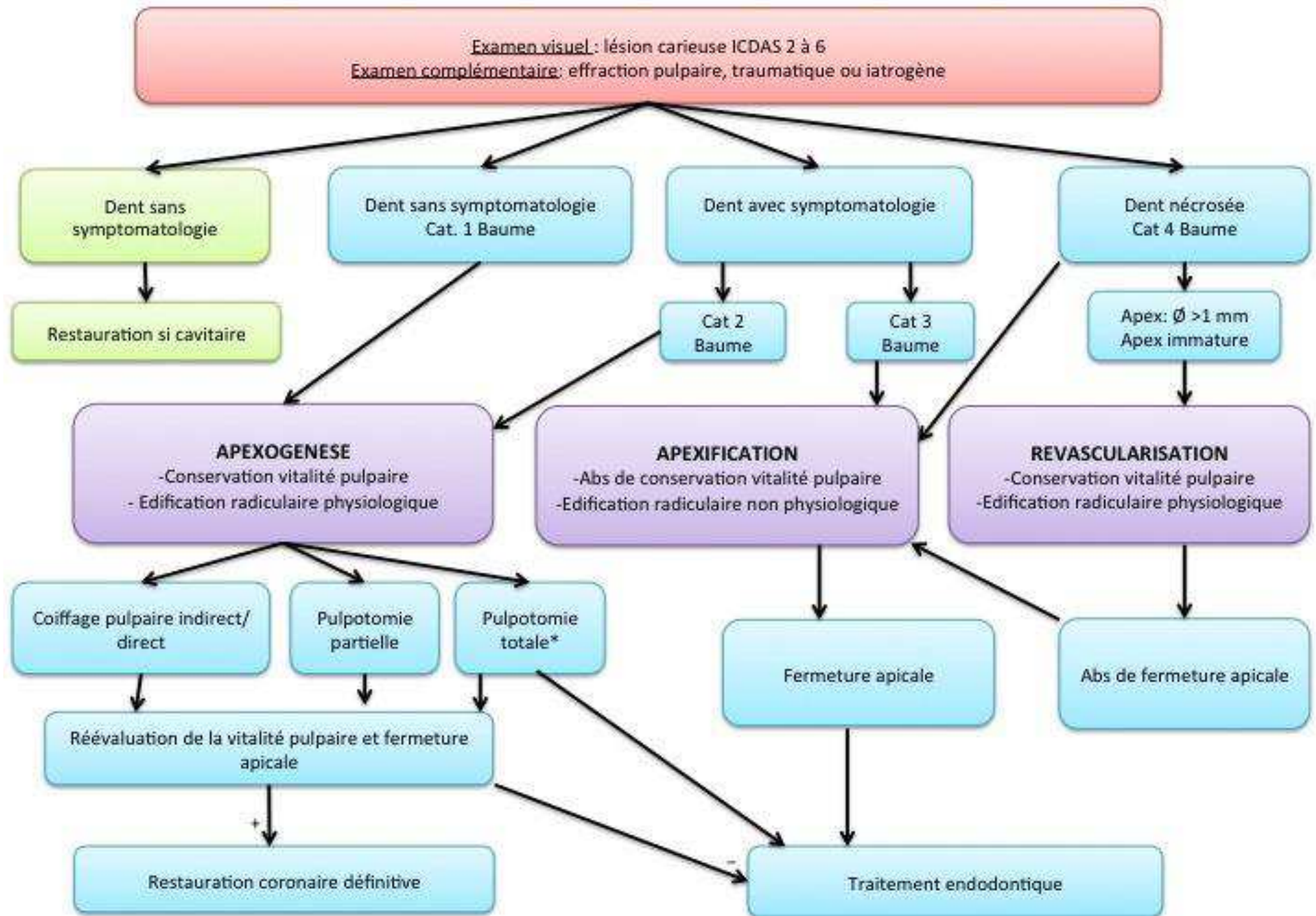
Les approches thérapeutiques sont fonction de la vitalité pulpaire de la DPI, compte tenu de son fort potentiel régénérateur, elle doit être préservée afin d'assurer une édification radiculaire physiologique. De même certaines procédures dépendent de l'atteinte septique ou non de la dent. Actuellement les thérapeutiques recommandées cherchent à utiliser au maximum les capacités physiologiques de réparation et cicatrisation tissulaire de la DPI.

Inversement si la vitalité pulpaire est compromise les thérapeutiques d'apexification permettent la fermeture apicale. Dans certains cas répondant aux critères de sélection, les procédures de revascularisation peuvent être une alternative intéressante à l'apexification. Cette procédure ne permet pas la régénération du complexe pulpo-dentinaire, mais permet un renforcement dentaire, une édification radiculaire et s'apparente donc à un processus d'apexogénèse. Malgré son faible recul clinique, elle peut être tentée, sachant que si ce traitement échoue la technique d'apexification pourra être mise en place.

Parallèlement, de nouvelles perspectives biologiques visent à permettre de restaurer la vitalité pulpaire grâce à des cellules souches mais ces techniques sont encore compliquées, incertaines et surtout extrêmement coûteuses.

Afin d'éviter la mise en œuvre de ces traitements, le rôle premier du chirurgien dentiste reste la prévention. Car malgré les différents matériaux à notre disposition, aucun ne présentent les propriétés biologiques, biomécaniques et physiologiques du tissu sain remplacé.

Figure 52: Arbre décisionnel des traitements pulpaires des dents permanentes immatures



Fiches cliniques

Coiffage pulpaire indirect

- dent permanente immature -

Objectif

Le traitement pulpaire indirect comprend la technique du coiffage indirect et la technique stepwise. Elles ont pour objectif l'élimination partielle de la dentine cariée évitant ainsi toute exposition pulpaire.

Indications

- ICDAS 5-6
- Catégorie 1 et 2 de Baume

Contre-indications

➤ **Contre-indication absolue**

- Toute pathologie générale susceptible d'être aggravée par l'existence d'une infection dentaire aiguë ou chronique

➤ **Contre-indications relatives**

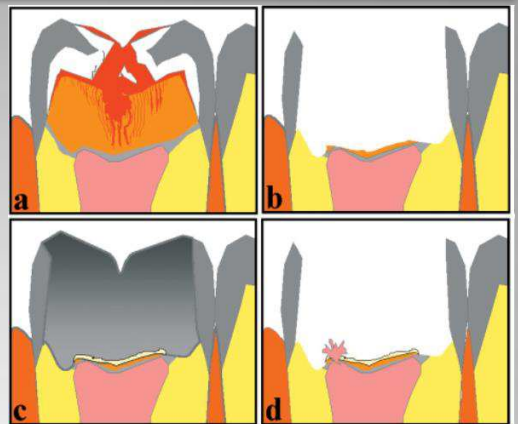
- Exposition pulpaire d'origine traumatique où le temps de latence détermine le succès du traitement
- Dent symptomatique: catégorie 3 et 4 de Baume
- Précédentes réparations dentinaires qui diminuent le potentiel réparateur.
- Délabrement coronaire trop importante rendant impossible la reconstitution coronaire

Thérapeutiques possibles

	Coiffage indirect	Technique « stepwise »
Nombre de séances	1	2
Exposition pulpaire	++	-
Conservation de la vitalité pulpaire	Absence de différence significative selon les études	
Matériaux	<ul style="list-style-type: none">• Fond de cavité : hydroxyde de calcium, MTA, Biodentine®, CEM ciment• Puis Restauration coronaire définitive (Composite ...)	<ul style="list-style-type: none">• hydroxyde de calcium + CVI (type CVIMAR) + Amalgame/ Composite• CVI (type CVIMAR) + Amalgame/ Composite

1. Protocole avec la technique du coiffage indirect

1. Radiographie préopératoire
2. Anesthésie locale si nécessaire
3. Isolation de la dent avec une digue
4. Elimination complète de la dentine infectée (a)
5. Conservation d'une fine couche de dentine affectée au contact de la pulpe (b)
6. Mise en place d'un matériau de coiffage (c)
7. Restauration coronaire étanche définitive (c)



L. Bjørndal



R. Gruythuysen

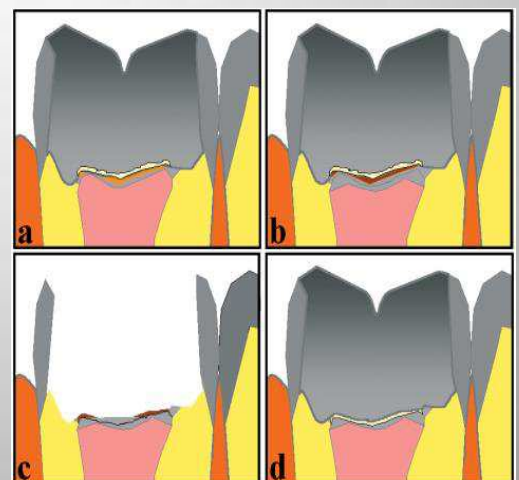
Suivi

clinique et radiographique

- A: radiographie préopératoire de la première molaire mandibulaire d'un enfant de 6,5 ans
 B: radiographie 1 semaine après réalisation du coiffage indirect
 C: radiographie à 2,5 ans
 D: radiographie à 5 ans

2. Protocole avec la technique stepwise

- 1^{er} temps opératoire.
 1. Radiographie préopératoire
 2. Anesthésie locale si nécessaire
 3. Isolation de la dent
 4. Ouverture à minima pour donner un accès à la dentine altérée
 5. Excavation de la dentine infectée proche de la pulpe
 6. Les bords périphériques de la cavité doivent être parfaitement nettoyés
 7. Restauration provisoire stratifiée (a)
 - Hydroxyde de Calcium + CVI (type CVIMAR) + Amalgame/ Composite
 - Ou CVI (type CVIMAR) + Amalgame/ Composite
- 2^{ème} temps opératoire. 6 à 12 mois après (b)
 8. Elimination de la restauration et du fond de cavité provisoires (c)
 9. Vérification de la reminéralisation et réalisation d'une obturation coronaire définitive (d)



L. Bjørndal

Coiffage pulpaire direct

- dent permanente immature -

Objectif

Mise en place d'un matériau de coiffage sur une exposition pulpaire.

Le principe est d'engendrer la formation d'un pont dentinaire et de conserver la vitalité pulpaire de la dent permanente immature permettant l'apexogénèse

Indications

➤ Générales

- Catégorie I et II de Baume

➤ Locales

- Reconstitution coronaire possible
- Mise en place de la digue possible
- Fracture coronaire complexe avec une exposition pulpaire < 1,5 mm et < 24H
- Pulpe saine

Contre-indications

➤ Absolues

- Patients à risque (AFSSAPS)
- Patient avec trouble de la crase sanguine

➤ Relatives

- Catégorie III et IV de Baume
- Traumatisme >24 H
- Absence d'hémostase
- Reconstitution coronaire impossible
- Pose de digue impossible
- Antécédents de pathologie pulpaire

Thérapeutiques possibles

	Hydroxyde de Calcium	MTA	Biodentine	CEM ciment
Nombre de séances	1	2	2	2
Facilité de mise en place	-	+	+	+
Pont dentinaire	Défauts structuraux	Absence de défauts		
Vitalité pulpaire	60 à 73,9%	93 à 100%	Peu de recul	Peu de recul
Recul clinique	++	+	-	-

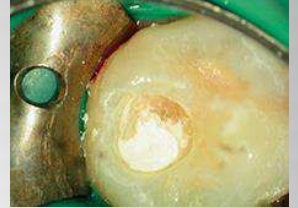
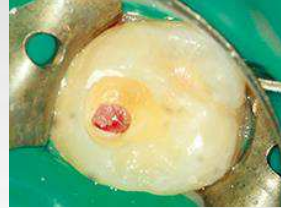
Protocoles

1. Etapes initiales (communes aux différents matériaux)

1. Contrôle de la vitalité pulpaire
2. Radiographie préopératoire
3. Anesthésie locale si nécessaire
4. Pose de la digue
5. Si étiologie carieuse : curetage dentinaire
Si étiologie traumatique : nettoyage de la plaie pulpaire
6. Hémostase : obtenue grâce à du NaOCl sur une boulette de coton

2. Coiffage direct avec l'Hydroxyde de Calcium

7. Mise en place de l'hydroxyde de calcium au niveau de l'exposition pulpaire
8. Bien éliminer l'hydroxyde de calcium présent sur les parois dentinaires pour une bonne herméticité de la restauration
9. Restauration coronaire étanche immédiate au CVI



S. Simon

2. Coiffage direct au MTA et CEM ciment



P. Maturo

- 1^{er} temps opératoire
- 7. Préparation du MTA / CEM ciment
- 8. Application du MTA /CEM ciment sur la zone d'exposition pulpaire
- 9. Mise en place d'une boulette de coton humidifiée au contact du MTA/CEM ciment. *Le temps de prise du MTA est de 3-4H en milieu humide.*
- 10. Restauration coronaire étanche provisoire

- 2^{ème} temps opératoire
- 12. Dépose de la restauration coronaire provisoire
- 13. Vérification au sondage de la prise du MTA/ CEM ciment
- 14. Restauration coronaire étanche définitive

3. Coiffage direct avec la Biodentine

- 1^{er} temps opératoire
- 7. Préparation de la Biodentine®
- 8. Placer la Biodentine® au contact de la pulpe sans compression excessive
- 9. Remplir la cavité de Biodentine®
- 2^{ème} temps opératoire
- 10. Réalisation de la restauration coronaire définitive étanche sur fond de cavité de Biodentine



Suivi

Clinique et Radiographique
à 1-3-6 et 9 mois

Pulpotomie partielle

- dent permanente immature -

Objectif

Autrement appelée pulpotomie de Cvek ou pulpotomie haute, elle consiste selon l'American Association of Endodontists en une éviction chirurgicale du tissu pulpaire inflammé dans le but de préserver la vitalité et permettre ainsi la poursuite de la radiculogénèse et la formation d'une barrière tissulaire résistante. C'est une alternative au coiffage direct, pour éviter de mettre un matériau directement au contact d'un tissu inflammé.

Indications

- Exposition pulpaire d'origine carieuse : catégorie I et II de Baume
- Exposition pulpaire d'origine traumatique: >24h et DPI saine

Contre-indications

- Catégorie III et IV de Baume
- Absence de contrôle de l'hémostase (signe d'une inflammation pulpaire irréversible)
- Pulpe avec des antécédents de traumatisme et d'inflammation carieuse (diminution de la résistance pulpaire)
- Pose de digue impossible (absence d'étanchéité)

Thérapeutiques possibles

	Hydroxyde de calcium	MTA	Biodentine®	CEM ciment
Nombre de séances	1	2	2	2
Maintien de la vitalité pulpaire et apexogénèse	91%	79 à 100%	NC	NC
Formation du pont dentinaire	55%	64%	NC	NC
Recul clinique	+++	+	-	-

1. Etapes initiales (communes aux différents matériaux)

1. Radiographie préopératoire
2. Anesthésie locale
3. Isolation de la dent par pose de la digue
4. Elimination du tissu carié
5. Amputation de 2-3 mm de pulpe inflammée, avec fraise boule diamantée et une bonne irrigation
6. Rinçage de la cavité avec une solution saline pour diminuer la contamination bactérienne
7. Hémostase achevée par irrigation avec du NaOCl à 6%



A. Backsiz et A. Alacam

2. Pulpotomie partielle avec l'Hydroxyde de Calcium



A. Backsiz et A. Alacam

8. Mise en place de l'Hydroxyde de Calcium au contact de la pulpe exposée
9. Le matériau de coiffage est alors recouvert par un CVI
10. Ce dernier recouvert dans la même séance par une obturation coronaire étanche (composite...)

Suivi

Clinique et Radiographique
à 3-6-12 et 24 mois

3. Pulpotomie partielle avec MTA et CEM ciment

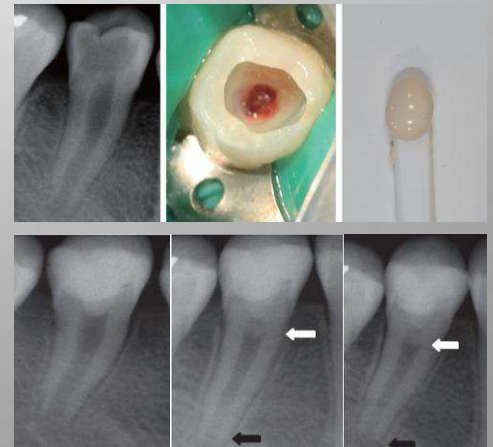
- 1^{er} temps opératoire
- 8. Dépôt de 2mm de matériau au contact de la pulpe sans pression à l'aide d'un porte amalgame
- 9. Mise en place d'un coton humide sur le MTA
- 10. Restauration coronaire provisoire au CVI
- 2^{ème} temps opératoire
- 11. Dépose de l'obturation provisoire et vérification par sondage de la prise du CEM ciment
- 12. Mise en place de l'obturation coronaire étanche

Suivi

Clinique et Radiographique
MTA : à 3-6-12 et 24 mois
CEM ciment : 6 et 12 mois

4. Pulpotomie partielle avec la Biodentine

- 1^{er} temps opératoire
- 8. Mise en place de la Biodentine® à l'aide d'un porte amalgame ou d'une spatule
- 9. Remplir toute la cavité avec de la Biodentine®
- 2^{ème} temps opératoire, 48h à 6 mois
- 10. Conservation de la Biodentine comme substitut dentinaire et reconstitution définitive de la partie amélaire.



Suivi

Clinique et Radiographique
à 3 et 6 mois

C. Villat

Pulpotomie totale

- dent permanente immature -

Objectif

La pulpotomie totale est l'élimination de l'intégralité de la pulpe camérale jusqu'aux orifices canalaire.

Le but de cette thérapeutique est de placer un matériau de coiffage directement au niveau de la pulpe radiculaire permettant ainsi de conserver la vitalité pulpaire de la dent permanente immature et permettre la fin de l'édification radiculaire.

Indications

- Indications identiques à la pulpotomie partielle
- Inflammation pulpaire plus étendue que pour la pulpotomie partielle, si l'hémostase n'est pas obtenue par simple amputation des 2-3 premiers millimètres de la pulpe il faut alors amputer totalement la pulpe camérale

Contre-indications

- Identiques à ceux pour la pulpotomie partielle

Thérapeutiques possibles

	Hydroxyde de calcium	MTA	Biodentine®	CEM ciment
Nombre de séances	1	2	2	2
Facilité de réintervention en cas d'échec	++	--	NC	NC
Taux de succès	87%	73,6 à 100%	Très peu de recul clinique	76,8% à 1 an

Protocoles

1. Etapes initiales (communes à tous les matériaux)

1. Radio préopératoire
2. Anesthésie locale
3. Mise en place de la digue
4. Elimination du tissu carié
5. Elimination de la pulpe camérale
6. Hémostase avec une solution saline dans un premier temps puis avec du NaOCl à 5%

2. Pulpotomie totale avec l'Hydroxyde de Calcium



7. Mise en place d'une première couche d'Hydroxyde de Calcium au contact de l'orifice canalaire et tassez légèrement
8. Restauration coronaire définitive, idéalement CVI + Composite ou CVI + coiffe pédodontique si la reconstitution coronaire est impossible.

3. Pulpotomie totale au MTA/ CEM ciment/ ZOE

- 1^{er} temps opératoire
 7. Dépôt du matériau, en couches successives sur 2mm, au contact de la pulpe et des parois, tassez légèrement avec un coton humidifié (sauf pour ZOE)
 8. Mise en place d'un coton humidifié au contact de la dernière couche (sauf pour ZOE)
 9. Obturation coronaire temporaire (ciment oxyde de zinc eugénol, Cavit ...)
- 2^{ème} temps opératoire, à 3 jours
 10. Elimination de l'obturation coronaire temporaire, vérification de la prise du matériau
 11. Reconstitution coronaire définitive étanche au composite si possible ou avec une coiffe pédodontique



P. Maturo

Suivi

Clinique et Radiographique
à 3-6-12-18 mois et jusqu'à
la fermeture apicale

Apexification

- dent permanente immature -

Objectif. L'apexification est une thérapeutique permettant d'obtenir :

- Soit la fermeture de l'extrémité radiculaire par formation d'un tissu calcifié recouvert d'un dépôt de ciment; c'est la technique omnibus
- Soit la mise en place d'un apex radiculaire anatomique, constitué de dentine recouverte de ciment, due à la reprise de l'activité normale de restes de tissu pulpaire vivant, c'est la technique douce, par la formation d'une barrière calcifiée (sans allongement radiculaire)

Indications

- Les dents immatures ont une atteinte pulpaire non réversible ou nécrosée, avec ou sans une lésion péri apical
- Les dents immatures où le développement radiculaire s'est arrêté au moment de la nécrose pulpaire, autrement dit une fermeture apicale incomplète
- La prévention ou l'arrêt d'une résorption interne ou externe de la racine
- Une perforation qui ne communique pas avec la cavité buccale
- Une fracture de la racine qui ne communique pas avec la cavité buccale

Contre-indications

- Patient présentant un risque infectieux.
- Patient présentant une allergie à l'un des matériaux

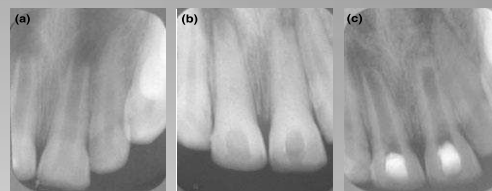
Thérapeutiques possibles

	Hydroxyde de calcium	MTA	Biodentine®
Nombre de séances	Nombreuses (jusqu'à la fermeture apicale)	3 séances	
Durée du traitement	8 à 24 mois	Quelques jours/ semaines	
Facilité de mise en place	+	-	-
Résistance à la fracture	-- : diminue la résistance de 50%	+	+
Type de fermeture apicale	Barrière apicale de tissus minéralisés	Fermeture apicale avec le MTA	Fermeture apicale avec la Biodentine®
Taux de succès	> 75%	> 83%	Peu de recul clinique

Protocoles

1. Protocole avec l'hydroxyde de calcium (HC)

1. Radiographie préopératoire
2. Anesthésie locale si nécessaire
3. Isolation de la dent avec une digue
4. Evaluation de la longueur de travail
5. Débridement du canal radiculaire (jusqu'à la lime 20-25)
6. Irrigation du canal avec de l'hypochlorite de sodium à 2,5%
7. Assèchement du canal avec des pointes de papier stériles
Obturation du canal avec de l'hydroxyde de calcium (au lentulo ou lime 15)
8. Radiographie post opératoire
9. Boulette de coton sur l'hydroxyde de calcium
10. Obturation de la cavité d'accès avec un CVI



a: radiographie préopératoire de 21/11 traumatisées.
b: application d'hydroxyde de calcium sur 21/11.
c: contrôle à 26 semaines. Formation de la barrière apicale sur 21.



d: obturation à la gutta percha de 21 et renouvellement de l'hydroxyde de calcium sur 11
e: contrôle à 58 semaines. Formation d'une barrière apicale sur 11. Obturation à la gutta percha de 11
f: contrôle à 72 semaines

Suivi

Contrôle clinique à une semaine avec test de percussion/palpation et radiographie de contrôle.
Puis contrôle à 3, 6, 9 semaines, 3, 6 et 9 mois.
Renouvellement de l'hydroxyde de calcium si besoin, surveillance radiographique de l'obtention d'une barrière apicale, puis :
12. Obturation tridimensionnelle du canal à la gutta-percha.
13. Restauration définitive (exemple: composite)

J.Chin

2. Protocole au MTA/Biodentine®

- **1^{er} temps opératoire:** désinfection à l'hydroxyde de calcium (identique au protocole à l'HC)
- **2^{ème} temps opératoire:** une semaine après la première séance.

1. Anesthésie locale
2. Isolation de la dent avec une digue
3. Retirer l'obturation provisoire et irriguer le canal avec l'hypochlorite de sodium à 2,5%
4. Assèchement du canal avec des pointes de papier stériles
5. Choix du fouloir permettant de condenser le MTA/Biodentine®
6. Préparation et mélange du MTA /Biodentine®
7. Déposer une carotte de 4mm de MTA à l'apex avec un pistolet porte-MTA/ déposer la Biodentine® à l'apex avec un porte amalgame ou Root Canal Messing Gun
8. Condenser le matériau avec le fouloir
9. Radiographie rétroalvéolaire de contrôle afin de vérifier la bonne mise en place du matériau
10. Placer une boulette de coton humide au contact du MTA pour favoriser sa prise
11. Obturation provisoire de la cavité d'accès (exemple: Cavit®)



21 traumatisée. Pré-opératoire



Détermination de la longueur de travail



Mise en place du bouchon de MTA



Contrôle radiographique à 12 mois

Suivi

Contrôle clinique à une semaine. L'obturation provisoire est retirée afin de vérifier la dureté du MTA/Biodentine®. Après durcissement complet:
12. Obturation verticale à chaud (car largeur du canal importante)
13. Restauration définitive (ex: composite)

P. Maturo

Revascularisation

- dent permanente immature -

Objectifs

- La revascularisation permet d'induire la formation d'un caillot sanguin au sein du canal, caillot servant à la recolonisation cellulaire du canal vidé de son contenu et préalablement désinfecté. Ce caillot permettra de recruter des cellules souches qui participeront à la régénération du tissu.
- Cette procédure permet de régénérer un nouveau tissu au sein de ce canal afin de réamorcer le processus d'édification radiculaire et l'épaississement des parois radiculaires

Indications

- La dent nécrosée doit être immature. La revascularisation survient plus sûrement lorsque les apex sont ouverts
- Les parois radiculaires doivent être fines
- Le patient doit être jeune; plus l'individu est jeune, plus le potentiel de régénération des cellules souches et la capacité de cicatrisation sont meilleures

Contre-indications

- Patient présentant un risque infectieux
- Patient présentant une allergie à l'un des matériaux

Thérapeutiques possibles

	Revascularisation avec hydroxyde de calcium	Revascularisation avec le tri antibiotique
Nombre de séances	3 séances	3 séances
Durée de traitement	12 à 24 mois	12 à 24 mois
Facilité de mise en place	–	–
Résistance à la fracture	++	++
Type de fermeture apicale	<ul style="list-style-type: none">• allongement de la racine• épaississement des parois• fermeture de l'apex	<ul style="list-style-type: none">• allongement de la racine• épaississement des parois• fermeture de l'apex
Inconvénients		<ul style="list-style-type: none">• coloration grisâtre dû à la minocycline• les antibiotiques peuvent entraîner des allergies et des résistances bactériennes
Taux de succès	Peu de recul clinique	Peu de recul clinique

Protocoles

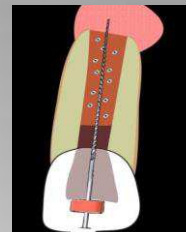
1. Protocole avec l'hydroxyde de calcium

1^{er} temps opératoire

1. Radiographie préopératoire
2. Anesthésie locale, si nécessaire
3. Isolation de la dent avec une digue
4. Irrigation douce avec 20ml/canal pendant 5 min d'hypochlorite de sodium à 1,5%
5. Irrigation avec 20ml/canal pendant 5 min de sérum physiologique
6. Sécher le canal avec des pointes de papier stérile
7. Mélanger l'hydroxyde de calcium avec de l'eau stérile
8. Placer l'hydroxyde de calcium dans la chambre pulpaire et dans la moitié coronaire du canal
9. Mise en place d'un coton
10. Mise en place d'un matériau temporaire (ex: cavit®/IRM)



Désinfection du canal à l'hydroxyde de calcium



Foramen apical est transfixé



Formation d'un caillot sanguin

2^{ème} temps opératoire: 4 semaines après la première séance

10. Anesthésie locale **sans** vasoconstricteur
11. Isolation de la dent avec la digue
12. Retirer la restauration temporaire
13. Irrigation avec 20ml d'EDTA à 17%
14. Sécher le canal avec des pointes de papier stérile
15. Provoquer un saignement avec une lime en transfixant de 2 mm le foramen apical
16. Mise en place d'une matrice de collagène (ex: collaplug®)
17. Mise en place d'un bouchon de MTA de 3 à 4 mm
18. Placer un coton stérile et une restauration temporaire (ex: CVI)



Mise en place du MTA au contact de ce caillot sanguin

3^{ème} temps opératoire: 3 à 4 semaines après la deuxième séance

19. La restauration temporaire et le coton stérile sont enlevés
20. Mise en place de la restauration définitive (ex: composite)

F. Perez



Contrôle à 2 ans



Contrôle à 4 ans

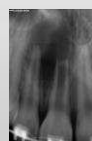
Suivi

- Première visite de contrôle à 1 mois puis à 3,6,9,12,15 et 24 mois si aucun signe clinique n'apparaît.
- La réduction de la lésion apicale peut être prévue entre 6 à 12 mois post opératoire.
- L'élargissement de la rainure et l'épaississement des parois latérales peuvent être prévus entre 12 à 24 mois post opératoire.

2. Protocole avec le tri antibiotique

1^{er} temps opératoire

1. Radiographie préopératoire
2. Anesthésie locale
3. Isolation de la dent avec la digue
4. Irrigation douce avec 20ml/canal pendant 5 minutes d'hypochlorite de sodium à 1,5%
1. Irrigation avec 20ml/canal pendant 5 min de sérum physiologique
2. Sécher le canal avec des pointes de papier stérile
3. Appliquer une couche d'adhésif sur les parois de la chambre pulpaire
4. Mise en place du tri-antibiotique avec un lentulo
5. Mise en place d'un coton stérile et d'un matériau temporaire (ex:cavit®)



Radiographie pré op de 11



Adhésif sur les parois coronaires



Mise en place du tri antibiotique



Formation du caillot



A 12 mois

Le 2^{ème}, le 3^{ème} temps opératoire ainsi que le suivi sont identiques au protocole avec HC.

S. Simon

Bibliographie

Bibliographie

1. **Vital S** – Formation et physiologie de la dent permanente immature : les répercussions cliniques. *Réalités cliniques* 2012 ; 23(4) : 253-259
2. **Cauwels R** Physiologie de l'apexogenèse; *Rev. Francoph. Odontol.* 2008 ; 86-88
3. **Malmgren B, Malmgren O** – Traumatisme et dentition. *Réalités cliniques* 1992 ; 3 (4) : 429-439
4. **Sixou JL** UFR d'Odontologie, Université de Rennes 1
5. **Courson F** - Odontologie pédiatrique au quotidien. Edition CDP 2001 ; 3-57.
6. **Lasfargues JJ, Colon P** – Une approche médicale globale ; *Odontologie conservatrice et restauratrice* tome 1, 2009
7. www.icdas.org
8. **Diniz MB, Rodrigues JA, Lussi A** - Traditional and Novel Caries Detection Methods Ming-yu Li. *Contemporary Approach to Dental Caries*, 2012, 105-124
9. **Pretty I** - Caries detection and diagnosis : Novel technologies . *J Dental* 2006 ;36 :727-739
10. **Camp JH** - Diagnosis dilemmas in vital pulp therapy: treatment for the toothache is changing, especially in young, immature teeth; *J Endod* 2008, 34: S6-12
11. **Fava LRG, Saunders WP** – Calcium hydroxyde pastes :classification ans clinical indications .*Int Endo J* 1999 ;32 : 257-282
12. **Webber R, Schwiebert K et Cathey G** - A technique for placement of calcium hydroxide in the root canal system. *J Amer Dent Ass* 1981;103 : 417-421
13. **Rafter M** - Apexification: a review. *Dent Traumatol* 2005 Feb;21(1):1-8
14. **Metzger Z, Solomonov M, Mass E** - Calcium hydroxide retention in wide root canals with flaring apices. *Dent Traumatol* 2001 Apr;17(2):86-92
15. **Yassen GH, Chin J, Mohammedsharif AG, Alsoufy SS, Othman SS, Eckert G** - The effect of frequency of calcium hydroxide dressing change and various pre- and inter-operative factors on the endodontic treatment of traumatized immature permanent incisors. *Dent Traumatol* 2012 Aug;28(4):296-301
16. **Javidi M, Zarei M, Afkhami F, Majdi LM** - An in vitro evaluation of environmental pH changes after root canal therapy with three different types of calcium hydroxide. *Eur J Dent* 2013 Jan;7(1):69-73
17. **Mohammadi Z, Dummer PM** - Properties and applications of calcium hydroxide in endodontics and dental traumatology. *Int Endod J* 2011 Aug;44(8):697-730.

18. **Goupy L** – Risques liés à l'utilisation de l'hydroxyde de calcium sur le long terme. L'information dentaire 2008 ; (16) : 813-817
19. **Stefopoulos S, Tsatsas DV, Kerezoudis NP, Eliades G** - Comparative in vitro study of the sealing efficiency of white vs grey ProRoot mineral trioxide aggregate formulas as apical barriers. Dent Traumatol 2008 Apr;24(2):207-13.
20. **Gohring K, Lehnert B, Zehnder M** - une revue des domaines d'indications du MTA Revue suisse odontostomatologie, Vol114 : 2/2004
21. **Schwartz RS, Mauger M, Clement DJ, Walker WA** - Mineral trioxide aggregate : A new material for endodontics. JADA 1999 ; 130 (7) : 967- 75
22. **Nuvvula S, Melkote TH, Mohapatra A, Nirmala S** - Management of immature teeth with apical infections using mineral trioxide aggregate. Contemp Clin Dent 2010 Jan;1(1):51-3
23. **Bogen G, Kuttler S** - Mineral trioxide aggregate obturation: a review. J Endod 2009 Jun;35(6):777-90
24. **Torabinejad M, Parirokh M** - Mineral trioxide aggregate: a comprehensive -part II: leakage and biocompatibility investigations. J Endod 2010 ; 36: 190-202
25. **Maroto M, Barberia E, Planells P, Vera V** - Treatment of a non-vital immature incisor with mineral trioxide aggregate (MTA). Dent Traumatol 2003 Jun;19(3):165-9
26. **Okiji T, Yoshiba K** - Reparative dentinogenesis induced by mineral trioxide aggregate: a review from the biological and physicochemical points of view. Int J Dent 2009
27. **Camilleri J, Pitt Ford T** - Mineral trioxide aggregate: a review of the constituents and biological properties of the material. Int Endod.J 2006 ; 39: 747-754
28. **Maturo P, Costacurta M, Bartolino M, Docimo R** - MTA applications in pediatric dentistry. Oral Implantol (Rome) 2009 Jul;2(3):37-44
29. **Bakland LK, Andreasen JO** - Will mineral trioxide aggregate replace calcium hydroxide in treating pulpal and periodontal healing complications subsequent to dental trauma? A review. Dent Traumatol 2012 Feb;28(1):25-32
30. **Chang SW** - Chemical characteristics of mineral trioxide aggregate and its hydration reaction. Restor Dent Endod 2012 Nov;37(4):188-93
31. **Maturo P, Costacurta M, Bartolino M, Docimo R** - MTA applications in pediatric dentistry; Oral Implantol 2009 ; 2: 37-44
32. www.Septodont.fr
33. **Camps J, Pommel L** - Biocompatibilité des matériaux endodontiques. Réalités cliniques 2005;16(2):139-152.
34. **Bergenholtz,G** - Advances since the paper by Zander and Glass (1949) on the pursuit of

- healing methods for pulpal exposures: historical perspectives. *Oral Surg.Oral Med.Oral Pathol.Oral Radiol.Endod.*2005 ;100: S102-S108
35. **Hilton TJ** - Keys to Clinical Success with Pulp Capping: A Review of the Literature. *Oper Dent* 2009 ;34(5) :615-625
 36. **Asgary S, Eghbal J, Parirokh M, Ghoddusi J, Kheirieh S, Brink F** - Comparison of Mineral Trioxide Aggregate's Composition with Portland Cements and a New Endodontic Cement
 37. **Nosrat T, Asgary S** - Apexogenesis of a symptomatic molar with calcium enriched mixture
 38. **Asgary S, Shahabi S, Jafarzadeh T, Amini S, Kheirieh S** - The Properties of a New Endodontic Material
 39. **Asgary S, Ahmadyar M** - Vital pulp therapy using calcium-enriched mixture An evidence-based review. *J Conserv Dent.* 2013 Mar-Apr; 16(2): 92–98.
 40. **Kim YJ, Chandler NP** - Determination of working length for teeth with wide or immature apices: a review. *Int Endod J* 2013 Jun;46(6):483-91.
 41. **Witherspoon DE** – Vital pulp therapy with new materials : new directions and treatment perspectives – permanent teeth. *Pediatr Dent* 2008 ; 30 :220-224
 42. **Aguilar P, Linsuwanont P** – Vital pulp therapy in vital permanent teeth with cariously exposed pulp : a systematic review. *J Endod* 2011 ; 37 :581-587
 43. **Simon S, Ifi-Naulin C** – Conservation de la vitalité pulpaire et traitement de la dent immature. *Réalités cliniques* 2012 ; 23(4):289-297
 44. **Lima FF, P ascotto RC, Benetti AR** - Stepwise excavation in a permanent molar : 17-years follow-up. *Operative Dentistry* 2010 ; 35(4) : 482-486
 45. **Thompson V, Craig R, Curro F, Green W, Ship J** - Treatment of deep carious lesions by complete excavation or partial removal. *J Am Dent Assoc* 2008 Jun ; 139(6) :705-712
 46. American Academy of Pediatric Dentistry - Guideline on pulp therapy for primary and immature permanent teeth.
 47. **Bjørndal L** - Indirect pulp therapy and stepwise excavation. *JOE* 2008 Jul ;34 :S29-S33
 48. **Bjørndal L, Thylstrup A** - A practice-based study on stepwise excavation of deep carious lesions in permanent teeth : a 1-year follow-up study. *Community Dent Oral Epidemiol* 1998 ;26 :122-8
 49. **Bjørndal L** - Dentin and pulp reactions to caries and operative treatment : biological variables affecting treatment outcome. *Endodontic Topics* 2002 ; 2 :10-23
 50. **Gruythuysen R, Van Strijp G, Wu M** - Long-term survival of indirect pulp treatment performed in primary and permanent teeth with clinically diagnosed deep carious lesions.

51. **Courson F, Smail-Faugeron V, Dursun E** – Traitement restaurateur des dents permanentes immatures. *Réalités Cliniques* 2012 ;23(4) :281-287
52. **Ricketts DN, Kidd EA, Innes N, Clarkson J** - Complete or ultraconservative removal of decayed tissue in unfilled teeth. *Cochrane Database Syst Rev.* 2006 Jul ;19(3)
53. **Bjørndal L, Reit C, Bruun G, Markvart M, Kjældgaard M, Näsman P, Thordrup M, Dige I, Nyvad B, Fransson H, Lager A, Ericson D, Petersson K, Olsson J, Santimano EM, Wennström A, Winkel P, Gluud C** - Treatment of deep carious lesions in adults : randomized clinical trials comparing stepwise vs. Direct complete excavation, and direct pulp capping vs. Partial pulpotomy. *Eur J Oral Sci* 2010;118 :290-297
54. **Ricketts D, Lamont T, Innes NPT, Kidd E, Clarkson JE** - Technique de prise en charge des caries dentaires. *Cochrane Summaries* Mar 2013
55. **Maltz M, Oliveira EF, Fontanella V, Garminatti G** - Deep Caries Lesions after Incomplete Dentine Caries Removal: 40-Month Follow-Up Study. *Caries Res* 2007;41:493–496
56. **Maltz M, Garcia R, Jardim JJ, De Paula LM, Yamaguti PM, Moura MS, Garcia F, Nascimento C, Oliveira A** - Randomized trial of partial vs stepwise caries removal : 3-years follow-up. *J Dent Res* 2012 ; 91(11) :1026-1031
57. **Maltz M, Jardim JJ, Mestrinho HD, Yamaguti PM, Podestra K, Moura MS, De Paula LM** - Partial removal of carious dentine : a multicenter randomized controlled trial and 18-month follow-up. *Caries Res* 2013 ;47 :103-109
58. **Priyanshi R** - A review of pulp therapy for primary and immature permanent teeth. august 2013, *CDA Journal* 2013 Aug ;41(8) :585-595
59. **Miyashita H, Worthington HV, Qualtrough A, Plasschaert A** - Pulp management for caries in adults : maintaining pulp vitality. *Cochrane Database Syst Rev* 2007
60. **Leye, Benoist F, Gaye, Ndiaye F, Kane AW, Benoist HM, Farge P** - Evaluation of mineral trioxide aggregate (MTA) versus calcium hydroxide cement (Dycal((R))) in the formation of a dentine bridge: a randomised controlled trial. *Int Dent.J* 2012 : 62: 33-39
61. **Abu-Tahun I, Torabinejad M** - Managment of teeth with vital pulps and open apices. *Endodontic Topics* 2012 ; 23 :79-104
62. **Witherspoon DE** - Vital pulp therapy with new materials- new directions and treatment perspectives--permanent teeth. *J Endod* 2008 ; 34 : S25-S28
63. **Bacaksiz A, Alaçam A** - Induction Of Maturogenesis by Partial Pulpotomy: 1 Year Follow-

Up. Case Reports in Dentistry 2013 Jul

64. **Barrieshi-Nusair KM, Qudeimat MA** - A prospective clinical study of mineral trioxide aggregate for partial pulpotomy in cariously exposed permanent teeth. J Endod 2006 ; 32/731-735
65. **Sen Tunc E, Alusoy Ayca T** - White mineral trioxide aggregate pulpotomies: Two case reports with long-term follow-up. Contemp Clin Dent 2011 Oct-Dec ; 2(4) :381-384
66. **Nosrat A, Asgary S** - Apexogenesis treatment with new endodontic cement : a case report. JOE 2010 May ; 36(5)
67. **Villat C, Grosogeat B, Seux D, Farge P** - Conservative approach of a symptomatic carious immature permanent tooth using a tricalcium silicate cement (Biodentine): a case report. Restor Dent Endod 2013 ; 38(4) :258-262
68. **Mejàre I, CvekM** – Partial pulpotomy in young permanent teeth with deep carious lesions. Endod Dent Traumatol 1993 ; 9 :238-242
69. **Ward J** – Vital pulp therapy in cariously exposed permanent teeth and its limitations. Aust Endod J 2002 ; 28 :29-37
70. **Charland R, Aubre N, Salvail P, Mackay P, Shoghikian E, Gagnon S, Mercier R, Champagne M** - Traumatismes des dents antérieures permanentes Onzième partie : traitements de l'exposition pulpaire traumatique. Journal de l'Ordre des dentistes du Québec 2007 Oct ; 44
71. **Rustem KS, Banu I, Hasmet U** - Mineral trioxide aggregate as a pulpotomy agent in immature teeth : long term case report. Eur J Dent 2013 ; 7 :133-138
72. **Harandi A, Forghani M, Ghoddusi J** - Vital pulp therapy with three different pulpotomy agents in immature molars : a case report. Iranian Endodontic Journal 2013 ; 8(3) :145-148
73. **Bakland LK** – Management of traumatically injured pulps in immature teeth using MTA. J Calif Dent Assoc 2000 ; 28 :855-858
74. **Nosrat A, Asgary S** - Apexogenesis of a symptomatic molar with calcium enriched mixture. International Endodontic Journal 2010 ; 43 :940-944
75. **Ghoddusi J, Shahrami F, Alizadeh M, Kianoush K, Forghani M** – Clinical and radiographic evaluation of vital pulp therapy in open apex teeth with MTA and ZOE. N.Y.State Dent J 2012 ; 78 :34-38
76. **Simon S, Perard M, Zanini M, Smith AJ, Charpentier E, Djole S X, Lumley PJ** – Should pulp chamber pulpotomy be seen as a permanent treatment ? Some preliminary thoughts. International Endodontic Journal 2013 ; 46 :79-87

77. **Olsburgh S, Jacoby T, Krejci I** – Crown fracture in the permanent dentition : pulpal and restorative considerations. *Dent Traumatol* 2002 ; 18 :103-115
78. International Association of Dental Traumatology – Dental trauma Guideline. 2012
79. **Chalaa S, Abdalloui F** - When to begin the endodontic treatment in traumatized permanent teeth ? Criteria for clinical decision-making. *Rev Odont Stomat* 2007;36:33-44
80. **Shabahang S** – Treatment options : Apexogenesis and apexification. *Pediatr Dent* 2013 Mar ;35(2) :125-128
81. **Bakland L, Andreasen J** – Will mineral trioxide aggregate replace calcium hydroxide in treating pulpal and periodontal healing complications subsequent to dental trauma ? a review. *Dental Traumatology* 2012 ; 28 :25-32
82. **Hilton TJ, Ferracane JL, Mancl L** – Comparaison of CaOH with MTA for direct pulp capping : a PBRN randomized clinical trial. *JDR Clinical Research Supplement* 2013 Jul ; 92(1) :16S-22S
83. **Bogen G, Kim JS, Bakland LK** – Direct pulp capping with mineral trioxide aggregate : an observational study. *J Am Dent Assoc* 2008 ; 139 :305-315
84. **Parolia A, Kundabala M, Rao NN, Acharya SR, Agrawal P, Mohan M, Thomas M** – A comparative histological analysis of human pulp following direct pulp capping with Propolis, mineral trioxide aggregate and Dycal. *Australian Dental Journal* 2010 ; 55 :59-64
85. **Gora M, Nowicka A, Lagocka R, Buczkowska-Radlinska J, Lipski M, Gorski M** – Mineral trioxide aggregate in the pulp capping treatment tooth. *Ann Acad Med Stetin* 2008 ; 54 :101-105
86. **Nowicka A, Lipski M, Parafiniuk M, Sporniak-Tutak K, Lichota D, Kosierkiewicz A, Kaczmarek W, Buczkowska-Radlinska J** – Response of human dental pulp capped with Biodentine® and mineral trioxide aggregate. *J Endod* 2013 ; 39 :743-747
87. **Qudeimat MA, Barrieshi-Nusair KM, Owais AI** – Calcium hydroxide vs mineral trioxide aggregates for partial pulpotomy of permanent molars with deep caries. *Eur Arch Paediatric Dent* 2007 Jun ; 8(2) :99-104
88. **Chailertvanitkul P, Papungkorakit J, Sooksantisakoonchai N, Pumas N, Pairojamornyoot W, Leela-Apiradee N, Abbott P** – Randomised control trial comparing calcium hydroxide and mineral trioxide aggregate for partial pulpotomies in cariously exposed pulps of permanent molars. *Int Endod J* 2013 Dec
89. **Nosrat A, Seifi A, Asgary S** – Pulpotomy in caries-exposed immature permanent molars using calcium-enriched mixture cement or mineral trioxide aggregate : a randomized clinical trial. *International Journal of Paediatric Dentistry* 2013 ; 23 :56-63

90. **El Meligy O, Avery D** – Comparaison of mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide as pulpotomy agents in young permanent teeth (apexogenesis). *Pediatr Dent* 2006 ; 28 :399-404
91. **Witherspoon DE, Small JC , Harris GZ** – Mineral Trioxide aggregate pulpotomies : a case series outcomes assessment. *J Am Dent Ass* 2006 ; 137 :610-618
92. **Sin-Yeon C, Deog-Guy S, Shin-Jae L, Junghyun L, Seung-Jong L, Il-Young J** – Prognostic factors for clinical outcomes according to time after direct pulp capping. *J Endod* 2013 ; 39 :327-331
93. **Eskandarizadeh A, Shahpasandzadeh MH, Shahpasandzadeh M, Torabi M, Parirokh M** – A comparative study on dental pulp response to calcium hydroxide, white and grey mineral trioxide aggregate as pulp capping agents. *J Conserv Dent*. 2011 Oct-Dec; 14(4): 351–355.
94. **Farsi N, Alamoudi N, Balto K, Mushayt A** – Clinical assessment of mineral trioxide aggregate as direct pulp capping in young permanent teeth. *J Clin Pediatr Dent* 2006 ; 31 :72-76
95. **Mente J, Geletneky B, Ohle M, Koch, MJ, Ding PGF, Wolff D, Dreyhaupt J, Martin N, Staehle HJ, Pfefferle T** – Mineral trioxide aggregate or calcium hydroxide direct pulp capping : an analysis of the clinical treatment outcome. *J Endod* 2010 ; 36 :806-813
96. **Mente J, Geletneky B, Ohle M, Koch, MJ, Ding PGF, Wolff D, Dreyhaupt J, Martin N, Staehle HJ, Pfefferle T** – Uncertainty remains regarding long-term success of mineral trioxide aggregate for direct pulp capping. *J Evid Base Dent Pract* 2010 ; 10 :250-251
97. **Sawicki L, Pameijer C H, Emerich K, Adamowicz-Klepalska B** – Histological evaluation of mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide in direct pulp capping of human immature permanent teeth. *Am J Dent* 2008 ; 21 :262-266
98. **Zarrabi MH, Javidi M, Jafarian AH, Joushan B** – Histologic assessment of human pulp response to capping with mineral trioxide aggregate and a novel endodontic cement. *J Endod* 2010 ; 36 :1778-1781
99. **Zarrabi MH, Javidi M, Jafarian AH, Joushan B** – Immunohistochemical expression of fibronectin and tenascin in human tooth pulp capped with mineral trioxide aggregate and a novel endodontic cement. *J Endod* 2011 Dec ; 37(12) :1613-1618
100. **Paranjpe A, Zhang H, Johnson J D** – Effects of mineral trioxide aggregate on human dental pulp cells after pulp-capping procedures. *J Endod* 2010 ; 36 :1042-104
101. **Roberts HW, Toth JM, Berzins DW, Charlton DG** - Mineral trioxide aggregate material use in endodontic treatment: a review. *Dent Mater* 2008 Feb;24(2):149-64

102. **Shabahang S** - Treatment options: apexogenesis and apexification. J Endod 2013 Mar;39(3 Suppl):S26-S29
103. **Huang GT** - Apexification: the beginning of its end. Int Endod J 2009 Oct;42(10):855-66
104. **Simon S, Rilliard F, Berdal A, Machtou P** - The use of mineral trioxide aggregate in one-visit apexification treatment: a prospective study. Int Endod J 2007 Mar;40(3):186-97
105. **DeAngelis L, Chockalingam R, Hamidi-Ravari A, Hay S, Lum V, Sathorn C** - In vitro assessment of mineral trioxide aggregate setting in the presence of interstitial fluid alone. J Endod 2013 Mar;39(3):402-5
106. **Torabinejad M, Chivian N** - Clinical applications of mineral trioxide aggregate. J Endod 1999 Mar;25(3):197-205
107. **Lee LW, Hsiao SH, Chang CC, Chen LK** - Duration for apical barrier formation in necrotic immature permanent incisors treated with calcium hydroxide apexification using ultrasonic or hand filing. J Formos Med Assoc 2010 Aug;109(8):596-602.
108. **Robert Charland, Normand Aubre, Paule Salvail, Pierre Macklise Shoghikian, Sylvain Gagnon, Richard Mercier et Marie Champagne** - Journal de l'ordre des dentistes du quebec 2007 ;44
109. **Chala S, Abouqal R, Rida S** - Apexification of immature teeth with calcium hydroxide or mineral trioxide aggregate : review. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2011 Oct;112(4):e36-e42
110. **Nagaveni NB, Umashankara KV, Radhika NB, Manjunath S** - Successful closure of the root apex in non-vital permanent incisors with wide open apices using single calcium hydroxide (caoh) dressing – report of 2 cases. J Clin Exp Dent. 2010;2(1):e26-9.
111. **Chala S, Rida S** - Apexification of immature teeth with calcium hydroxide or mineral trioxide aggregate. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 2011 Oct;112(4):e36-42
112. **Moore A, Howley MF, O'Connell AC** - Treatment of open apex teeth using two types of white mineral trioxide aggregate after initial dressing with calcium hydroxide in children. Dent Traumatol 2011 Jun;27(3):166-73
113. **Claisse-crinquette A, Claisse D** – Hydroxyde de calcium ou MTA en traumatologie. Réalité clinique 2002 ; 13(1): 53-73
114. **Francois Bronnec** - A dentin substitute for the repair of root perforations, apexification and retrograde root filling. Endodontic applications. Septodont case studies 2012 n°1
115. **M, Kokate S, Pawar G, Hegde V** - Apexification of non-vital central incisors with wide open apices using conventional approach of calcium hydroxide dressings and contemporary

- approach of artificial apical barrier by apical plug of biodentine: Report of two cases. Universal research journal of dentistry 2013 ; 3(2) : 79-82
116. **Jeeruphan T, Jantarat J, Yanpiset K, Suwannapan L, Khewsawai P, Hargreaves KM** - Mahidol study : comparison of radiographic and survival outcomes of immature teeth treated with either regenerative endodontic or apexification methods: a retrospective study. J Endod 2012 Oct;38(10):1330-6
 117. **Al Ansary MA, Day PF, Duggal MS, Brunton PA** - Interventions for treating traumatized necrotic immature permanent anterior teeth: inducing a calcific barrier & root strengthening. Dent Traumatol 2009 Aug;25(4):367-79
 118. **Bishop BG, Woollard GW** - Modern endodontic therapy for an incompletely developed tooth. Gen Dent 2002 May;50(3):252-6
 119. **Rosenberg B, Murray PE, Namerow K**. The effect of calcium hydroxide root filling on dentin fracture strength. Dent Traumatol. 2007; 23: 26-29.
 120. **Dominguez Reyes A, Muñoz Muñoz L, Aznar Martín T**. Study of calcium hydroxide apexification in 26 young permanent incisors. Dent Traumatol. 2005;21(3):141-5.
 121. **Walia T, Chawla HS, Gauba K**. Management of wide open apices in non-vital permanent teeth with Ca(OH)₂ paste. J Clin Pediatr Dent. 2000;25(1):51-6
 122. **Sarris S, Tahmassebi JF, Duggal MS, Cross IA**. A clinical evaluation of mineral trioxide aggregate for root-end closure of non-vital immature permanent incisors in children- a pilot study. Dent Traumatol 2008;24:79–85
 123. **Holden DT, Schwartz SA, Kirkpatrick TC, Schindler WG**. Clinical outcomes of artificial root-end barriers with mineral trioxide aggregate in teeth with immature apices. J Endod 2008;34:812–7
 124. **Moore A, Howley MF, O'Connell AC**. Treatment of open apex teeth using two types of white mineral trioxide aggregate after initial dressing with calcium hydroxide in children. Dent Traumatol 2011;27:166–73
 125. **Moore A, Howley MF, O'Connell AC**. Treatment of open apex teeth using two types of white mineral trioxide aggregate after initial dressing with calcium hydroxide in children. Dent Traumatol 2011 Jun;27(3):166-73
 126. **Pradhan DP, Chawla HS, Gauba K, Goyal A**. Comparative evaluation of endodontic management of teeth with unformed apices with mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide. J Dent Child 2006;73:79–85
 127. **Witherspoon DE, Small JC, Regan JD, Nunn M**. Retrospective analysis of open apex teeth obturated with mineral trioxide aggregate. J Endod 2008;34:1171–6

128. **Tate AR.** Calcium hydroxide or mineral trioxide aggregate may be used for the apexification of immature teeth. *J Evid Based Dent Pract* 2012 Mar;12(1):24-5
129. **Machtou P, Martin D** – Risques liés à l'utilisation de l'hydroxyde de calcium. *Information dentaire* 2008;16
130. **Martin RL, Monticelli F, Brackett WW, Loushine RJ, Rockman RA, Ferrari M, et al.** - Sealing properties of mineral trioxide aggregate orthograde apical plugs and root fillings in an in vitro apexification model. *J Endod* 2007 Mar;33(3):272-5
131. **Roberts HW, Toth JM, Berzins DW, Charlton DG.** Mineral trioxide aggregate material use in endodontic treatment. *Dent Mater* 2008 Feb;24(2):149-64
132. **Saber SE** - Tissue engineering in endodontics. *J Oral Sci* 2009 Dec;51(4):495-507
133. **Garcia-Godoy F, Murray PE** - Recommendations for using regenerative endodontic procedures in permanent immature traumatized teeth. *Dent Traumatol* 2012 Feb;28(1):33-41.
134. **Shin SY, Albert JS, Mortman RE** - One step pulp revascularization treatment of an immature permanent tooth with chronic apical abscess: a case report. *Int Endod J* 2009 Dec;42(12):1118-26
135. **Law AS** - Considerations for regeneration procedures. *J Endod* 2013 Mar;39(3 Suppl):S44-S56
136. **Thomson A, Kahler B** - Regenerative endodontics biologically based treatment for immature permanent teeth: review. *Aust Dent J* 2010 Dec;55(4):446-52
137. **Bourguignon C** – L'urgence traumatique de la dent permanente immature. *SOP* 2013
138. **Reynolds K, Johnson JD, Cohenca N** - Pulp revascularization of necrotic bilateral bicuspid using a modified novel technique to eliminate potential coronal discolouration . *Int Endod J* 2009 Jan;42(1):84-92
139. **Banchs F, Trope M** - Revascularization of immature permanent teeth with apical periodontitis: new treatment protocol? *J Endod* 2004 Apr;30(4):196-200
140. **Huang GT, Sonoyama W, Liu Y, Liu H, Wang S, Shi S** - The hidden treasure in apical papilla: the potential role in pulp/dentin regeneration and bioroot engineering. *J Endod* 2008 Jun;34(6):645-51
141. **Chueh LH, Huang TJ** – Apexogenesis in immature teeth with periradicular periodontitis/abcess. *Journal of endodontics* 2006 ; 32(12)
142. **Schmalz G, Smith J** - Pulp Development, Repair, and Regeneration:Challenges of the Transition from Traditional Dentistry to Biologically Based Therapies. *Journal of endodontics* 2014;40(4)

143. **Huang GT.** Apexification: the beginning of its end. *Int Endod J* 2009 Oct;42(10):855-66
144. **Kansal N, Rajnish K, Pratibha G, Rajesh J, Deepika G, Harpreet-singh G** - Med Oral Patol Cir Bucal ; 2011 Nov 1 ;16 (7) ; e997-1004
145. **Naseem S, AjayL ,Uday B, Vivek A** - Efficacy of revascularization to induce apexification/apexogenesis in infected, nonvital, immature teeth . *Journal of endodontics* 2008;34(8)
146. **Petrino JA.** Revascularization of necrotic pulp of immature teeth with apical periodontitis. *Northwest Dent* 2007;86:33–5
147. **Shimizu E, Jong G, Partridge N, Rosenberg PA, Lin LM** - Histologic observation of a human immature permanent tooth with irreversible pulpitis after revascularization/regeneration procedure. *J Endod* 2012 Sep;38(9):1293-7
148. **Chen MY, Chen KL, Chen CA, Tayebaty F, Rosenberg PA, Lin LM** - Responses of immature permanent teeth with infected necrotic pulp tissue and apical periodontitis/abscess to revascularization procedures. *Int Endod J* 2012 Mar;45(3):294-305
149. **Hargreaves KM, Giesler T, Henry M, Wang Y-** Regeneration potential of the young permanent tooth: what does the future hold? *J Endod* 2008 Jul;34(7 Suppl):S51-S56
150. **Wang X, Thibodeau B, Trope M, Lin L, Huang G** - Histologic Characterization of Regenerated Tissues in Canal Space after the Revitalization/Revascularization Procedure of Immature Dog Teeth with Apical Periodontitis. *Journal of endodontics* 2010;36(1)
151. **Cehreli Z, Isbiten B, Sara S, Erbas G** - Regenerative Endodontic Treatment (Revascularization) of Immature Necrotic Molars Medicated with Calcium Hydroxide: A Case Series. *Journal of endodontics* 2011;9:1327–1330
152. **Pramila R, Muthu M.** Regeneration potential of pulp-dentin complex: Systematic review. *J Conserv Dent* 2012 Apr;15(2):97-103
153. **Nosrat A, Seifi A, Asgary S** - Regenerative endodontic treatment (revascularization) for necrotic immature permanent molars: a review and report of two cases with a new biomaterial. *J Endod* 2011 Apr;37(4):562-7
154. **Jung IY, Lee SJ, Hargreaves KM** - Biologically based treatment of immature permanent teeth with pulpal necrosis ;. *J Endod* 2008 Jul;34(7):876-87
155. **Ding RY, Cheung GS, Chen J, Yin XZ, Wang QQ, Zhang CF** - Pulp revascularization of immature teeth with apical periodontitis: a clinical study. *J Endod* 2009 May;35(5):745-9
156. **Iwaya SI, Ikawa M, Kubota M** - Revascularization of an immature permanent tooth with apical periodontitis and sinus tract. *Dent Traumatol* 2001 Aug;17(4):185-7
157. **Petrino JA, Boda KK, Shambarger S, Bowles WR, McClanahan SB** - Challenges in

- regenerative endodontics: a case series. J Endod 2010 Mar;36(3):536-41
158. **Wigler R, Kaufman AY, Lin S, Steinbock N, Hazan-Molina H, Torneck CD-** Revascularization: a treatment for permanent teeth with necrotic pulp and incomplete root development. J Endod 2013 Mar;39(3):319-26
 159. **Simon S, Attal Stym-Popper S, Machtou P, Berdal A** - L'endodontie régénératrice : où en sommes-nous ? L'information dentaire n° 18 - 15 mai 2013
 160. **Huang GT** - A paradigm shift in endodontic management of immature teeth: conservation of stem cells for regeneration. J Dent 2008 Jun;36(6):379-86
 161. **Essner MD, Javed A, Eleazer PD** - Effect of sodium hypochlorite on human pulp cells: an in vitro study. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2011 Nov;112(5):662-6
 162. **Sheehy EC, Roberts GJ** - Use of calcium hydroxide for apical barrier formation and healing in non-vital immature permanent teeth: a review. Br Dent J 1997 Oct 11;183(7):241-6
 163. **Lovelace TW, Henry MA, Hargreaves KM, Diogenes A** - Evaluation of the delivery of mesenchymal stem cells into the root canal space of necrotic immature teeth after clinical regenerative endodontic procedure. J Endod 2011 Feb;37(2):133-8
 164. **Bose R, Nummikoski P, Hargreaves K** - A retrospective evaluation of radiographic outcomes in immature teeth with necrotic root canal systems treated with regenerative endodontic procedures. J Endod 2009 Oct;35(10):1343-9
 165. **Kottoor J, Velmurugan N** - Revascularization for a necrotic immature permanent lateral incisor. Int J Paediatr Dent 2013 Jul;23(4):310-6
 166. **Cehreli ZC, Sara S, Aksoy B** - Revascularization of immature permanent incisors after severe extrusive luxation injury. J Can Dent Assoc 2012;78:c4
 167. **Kim JH, Kim Y, Shin SJ, Park JW, Jung IY** - Tooth discoloration of immature permanent incisor associated with triple antibiotic therapy: a case report. J Endod 2010 Jun;36(6):1086-91
 168. **Martin Trope** - Treatment of the Immature Tooth with a Non-Vital Pulp and Apical Periodontitis. Dent Clin N Am 2010 ;313-324
 169. **Simon S** – revascularisation canalaire en endodontie, régénération ou réparation?. Les entretiens d'odonto-stomatologie 2013
 170. **Perez F** – Traitement de la pulpe nécrosée de la dent permanente immature. Apexification ou Regeneration ?. Réalité clinique 2012 ;23(4)
 171. **Huey Chueh L, Huang G** - Immature Teeth With Periradicular Periodontitis or Abscess Undergoing Apexogenesis: A Paradigm Shift. Journal of endodontic 2006 ; 32(12)

172. **AFSSAPS** : Prescription des antibiotiques en pratique bucco-dentaire, Recommandations, septembre 2011
173. **Bausset O** - « le plasma riche en plaquette en 2011 » médecins du sport, Nov 2011
174. **Dohan S, Dohan A, Choukroun J, Diss A, Simonpieri A, Girard M-O , Dohan D** - De l'usage des concentrés plaquettaires autologues en application topique
175. **Trevino EG, Patwardhan AN, Henry MA, Perry G, Dybdal-Hargreaves N, Hargreaves KM, et al** - Effect of irrigants on the survival of human stem cells of the apical papilla in a platelet-rich plasma scaffold in human root tips. J Endod 2011 Aug;37(8):1109-15
176. **Jadhav G, Shah N, Logani** - Revascularization with and without Platelet-rich Plasma in Nonvital, Immature, Anterior Teeth: A Pilot Clinical Study. Journal of endodontic 2012;38(12)
177. **Pietrzak W, Eppley BL** - Platelet rich plasma: Biology and new technology. Journal Craniofacial Surgery Journal Craniofacial Surgery. 2005;16(6):1043–54
178. **Roussy Y** - Effets des plasmas riches en plaquettes sur la formation osseuse in vitro
179. **Sonnleitner D, Huemer P, Sullivan DY** - A simplified technique for producing platelet-rich plasma and platelet concentrate for intraoral bone grafting techniques: a technical note. Int J Oral Maxillofac Implants 2000;15:879-82
180. **Sunitha R, Munirathnam N** - Platelet-rich fibrin: evolution of a second-generation platelet concentrate. Indian J Dent Res. 2008 Jan-Mar;19(1):42-6
181. La société française de parodontologie et d'implantologie orale – la position du SFPIO sur le PRF
182. **Lew WK, Weaver FA** - Clinical use of topical thrombin as a surgical hemostat. Biologics 2008 Dec; 2(4):593-9
183. **Shivashankar VY, Johns DA, Vidyanath S, Kumar MR** - Platelet Rich Fibrin in the revitalization of tooth with necrotic pulp and open apex. J Conserv Dent 2012 Oct;15(4):395-8
184. **Shivashankar V, Johns D** - Platelet Rich Fibrin in the revitalization of tooth with necrotic pulp and open apex. J Conserv Dent, 2012; 15(4) : 395-398
185. **Murray P, Garcia-Godoy F, Hargreaves K** - Regenerative Endodontics: A Review of Current Status and a Call for Action. Journal of endodontics 2007;38(4)
186. **Nakashima M , Akamine A** - The application of tissue engineering to regeneration of pulp and dentin in endodontics, J Endod, 2005 ;31 :711-718

Serment d'Hippocrate

En présence des Maîtres de cette Faculté, de mes chers condisciples, devant l'effigie d'Hippocrate,

Je promets et je jure, au nom de l'Etre Suprême, d'être fidèle aux lois de l'Honneur et de la probité dans l'exercice de La Médecine Dentaire.

Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail, je ne participerai à aucun partage clandestin d'honoraires.

Admis dans l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui se passe, ma langue taira les secrets qui me seront confiés et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs ni à favoriser le crime.

Je ne permettrai pas que des considérations de religion, de nation, de race, de parti ou de classe sociale viennent s'interposer entre mon Devoir et mon patient.

Je garderai le respect absolu de la vie humaine dès sa conception.

Même sous la menace, je n'admettrai pas de faire usage de mes connaissances médicales contre les lois de l'Humanité.

Respectueux et reconnaissant envers les Maîtres, je rendrai à



Approbation – Improbation

Les opinions émises par les dissertations présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, sans aucune approbation ou improbation de la Faculté de Chirurgie dentaire (1).

Lu et approuvé,

Vu,

Nice, le

Le Président du jury,

Le Doyen de la Faculté de

Chirurgie Dentaire de l'UNS

Professeur Michèle Muller-Bolla

Professeur Armelle MANIERE

(1) Les exemplaires destinés à la bibliothèque doivent être obligatoirement signés par le Doyen et par le Président du Jury.

Camille AUCLER Loriane SIMON

LE TRAITEMENT PULPAIRE DES DENTS PERMANENTES IMMATURES

Thèse : Chirurgie Dentaire, Nice, **2013-2014**, n°**42571406**

Directeur de thèse : **Dr Clara JOSEPH**

Mots-clés : dents permanentes immatures, apexogénèse, coiffage pulpaire, apexification, revascularisation.

Résumé :

Chez l'enfant il est courant de rencontrer des lésions carieuses ou traumatiques sur les dents permanentes immatures. Leur conservation sur l'arcade est alors un enjeu primordial pour le chirurgien-dentiste.

Deux cas de figure se présentent ; soit la dent présente une pulpe vivante auquel cas l'objectif principal est d'obtenir une édification radiculaire physiologique avec fermeture complète de l'apex. Le recours aux thérapeutiques d'apexogénèse est alors nécessaire.

Soit la dent présente une pulpe nécrosée, l'édification radiculaire non physiologique est obtenue grâce à des techniques d'apexification.

Plus récemment l'approche de la pulpe nécrosée par une technique de revascularisation permet d'obtenir un développement radiculaire physiologique.

Cet ouvrage à visée pédagogique est le résultat d'une longue recherche faisant la synthèse des données actuelles présentes dans la littérature.

Adresse des auteurs :

441 avenue Marcel Pagnol 06210 Mandelieu

3 avenue Laugier, Villa St Henri 06400 Cannes